

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

• • : : : : НЕДЕЛЯ
• : : : : : НАУКИ СПБПУ
• • • • π 18–23 ноября 2019 года

МАТЕРИАЛЫ
научной конференции
с международным участием

**ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ, МАТЕРИАЛОВ
И ТРАНСПОРТА**

Часть 2



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург
2020

УДК 621.01
ББК 34.4
Н42

Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием, 18–23 ноября 2019 г. **Институт машиностроения, материалов и транспорта.** В 2 ч. Ч. 2. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – 344 с.

В сборник включены статьи студентов, аспирантов, молодых ученых и сотрудников СПбПУ, университетов, научных организаций и предприятий Санкт-Петербурга, России, зарубежных стран по материалам докладов, принятых на секционные заседания конференции «Неделя науки СПбПУ» Института машиностроения, материалов и транспорта. Статьи отражают современный уровень научно-исследовательской работы участников конференции в области машиностроения, робототехники и транспорта.

Представляют интерес для специалистов в различных областях знаний, для учащихся и работников системы высшего образования и Российской академии наук.

Редакционная коллегия
Института машиностроения, материалов и транспорта СПбПУ:
А. А. Попович (директор института), *М. С. Кокорин* (отв. ред.)
А. Н. Волков, В. В. Крохмаль, А. В. Бахшиев, В. В. Ваганов,
В. И. Слатин, Е. В. Зaborский, В. С. Мамутов, М. В. Яковицкая,
А. А. Грачёв, Д. Г. Плотников

Печатается по решению
Совета по издательской деятельности Ученого совета
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

ISBN 978-5-7422-6863-5 (ч. 2)
ISBN 978-5-7422-6843-7

© Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 2020

СЕКЦИЯ «АВТОМАТЫ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА»

УДК 620.17.05

А.А. Брянский, А.К. Васильев, А.Н. Попов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ СИГНАЛА УДАРНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

Актуальность. Ударным воздействиям подвергается большинство изделий промышленного производства [1]. Для имитации ударов, в том числе и многократных, применяются ударные стенды. Основное требование, предъявляемое к испытательным ударным стендам, сводится к созданию ударных импульсов ускорения заданной формы, амплитуды и длительности. При многократных ударах нормируется частота следования импульсов ускорения [1].

Для контроля параметров ударных импульсов, используются ударные акселерометры [2]. Исследования и настройки проводились на стенде многократных ударов СМУ1200 (рисунок 1, а) компании Дельтамэк, владеющей патентом RU 168467 [3]. Порядок анализа ударного импульса описан в ГОСТе 51371-99 [4] (рисунок 1, б).

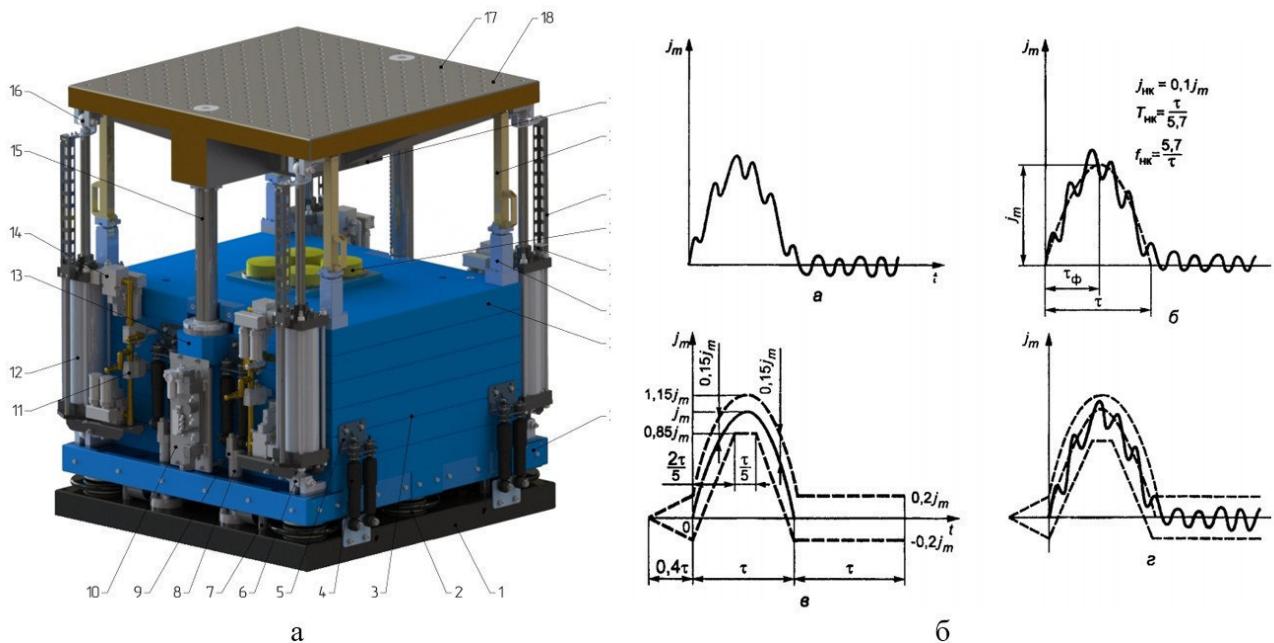


Рисунок 1

а – Ударный стенд СМУ1200:

1 – плита-подошва, 2 – пневмоподушка, 3 – стальная плита, 4 – амортизатор, 5 – верхняя опора, 6 – сферическая опора, 7 – нижний упор, 8 – направляющая, 9 – верхний упор, 10 – пневмопанель,

11 – электропневматический преобразователь давления, 12 – пневмоцилиндр,

13 – опора направляющей, 14 – клапан, 15 – направляющая, 16 – сферический шарнир,

17 – сетка резьбовых отверстий, 18 – стол, 19 – боек, 20 – упор, 21 – линейка, 22 – наковальня,

23 – индуктивный преобразователь, 24 – стойка, 25 – верхняя плита, 26 – нижняя плита

б – Последовательность действий для оценки полусинусоидальной формы импульса:

а – осциллограмма исходного импульса; б – выявление усредненного профиля импульса,

в – нормированная форма импульса; г – оценка формы импульса

Задачи. Поскольку стенд работает в автоматическом режиме, то при каждом ударе требуется определять параметры ударного импульса вне зависимости от зашумленности его осциллограммы. Помимо отображения импульса на экране панели управления, параметры удара необходимы контроллеру для корректировки параметров управления для выполнения последующего удара. Поэтому стоит задача детектирования ударного импульса и оценка его параметров.

На практике детектирование ударного импульса является непростой задачей, поскольку амплитуда сигнала акселерометра может иметь разный вид. При увеличении амплитуды удара исходный сигнал с акселерометра стенда СМУ1200 становится сильно зашумленным и появляются трудности не только в определении его параметров, но и при детектировании области/участка удара. Примеры ударных импульсах при трех разных пиковых ударных ускорениях показаны на рисунке 2.

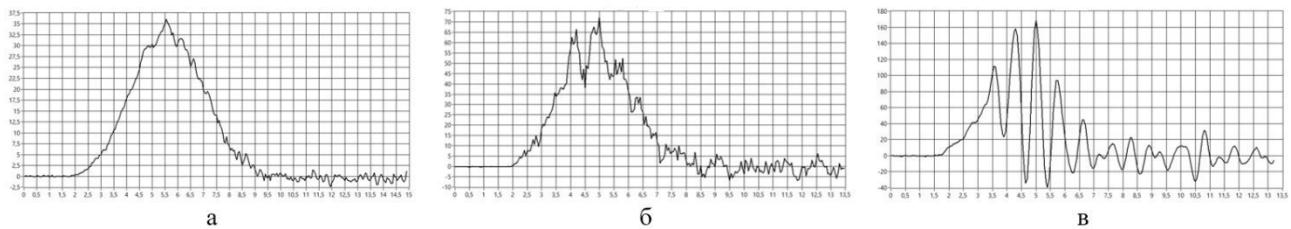


Рисунок 2. Ударный импульс (исходный)
пиковые ударные ускорения: а – 35g; б – 75g; в – 150g

Решение задачи. Определение ударного импульса и его параметров, а также отрисовка осциллограммы была выполнена в программной среде LabView. Для анализа сигнала использовался следующий алгоритм:

1. Определение пикового ускорения;
2. Сглаживание сигнала при помощи Инверсного фильтра Чебышева [5];
3. Определение точки начала импульса;
4. Определение точки окончания импульса;
5. Определение длительности на заданном уровне;
6. Отрисовка ударного импульса и совмещение с исходным сигналом;
7. Проверка напопадание в границы поля допуска.

Детально каждый пункт алгоритма приведен ниже:

1. Пиковое ускорение: определение максимального значения ускорения.
2. Сглаживание сигнала производится при помощи Инверсного фильтра Чебышева (фильтра Чебышева 2 рода), используется фильтр большого порядка ($n > 3$) с частотой среза более 500 Гц.
3. Начало импульса определяется при помощи производной. От производной в точке с пиковым значением движемся в сторону убывания индексов в поиске индекса, где производная близка к нулю.
4. Определение точки окончания импульса происходит подобным же образом, как и при поиске его начала, однако также производится проверка на симметричное расположение пикового значения ударного ускорения.
5. Длительность на заданном уровне определяется как разница во времени между первым появлением требуемого значения сигнала (10% от пикового значения согласно ГОСТ) на восходящем фронте и вторым появлением – на нисходящем.
6. Окончательная отрисовка импульса по найденным параметрам.
7. Выполнение проверки импульса на соответствие заданному.

Благодаря вышеописанному алгоритму определение ударного импульса и его параметров происходит во всем диапазоне работы стенда 3-150 g. На мониторе оператора стенда импульс представляется в виде идеального полусинуса с найденными параметрами. Совмещенные графики исходного и отрисованного полусинусоидального ударного импульса отображены на рисунке 3.

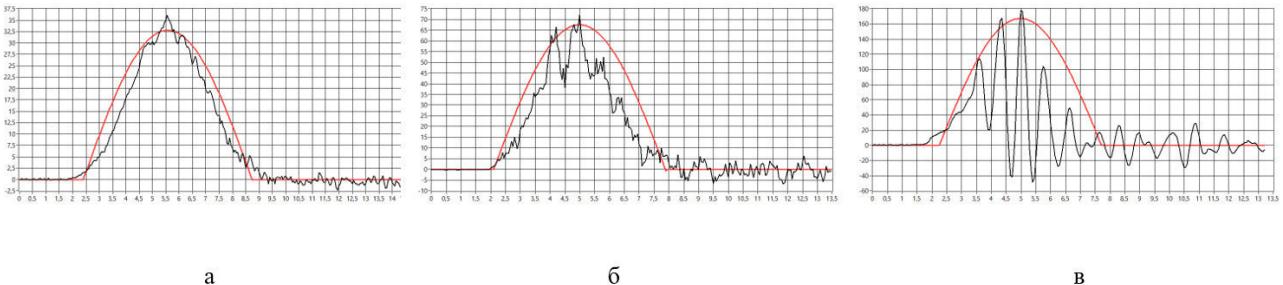


Рисунок 3. Ударный импульс (исходный и идеальный полусинус)
а – 35g; б – 75g; в – 150g

По осциллограммам ударных импульсов можно оценить параметры удара, а также сделать некие выводы о его соответствии полусиносоидальному импульсу.

При задании пикового ударного ускорения 35g (рисунок 3, а) реальная амплитуда составила 32,75 g и длительность - 6 мс, при этом сигнал лишь немножко зашумлен и соответствует полусиносоиде, колебаний сопоставимой частоты не наблюдается.

При задании 75 g (рисунок 3, б) реальная амплитуда - 67,53 g и длительность - 6 мс, при этом сигнал значительно зашумлен, но все еще соответствует полусиносоиде, явных колебаний сопоставимой частоты не наблюдается.

При задании пикового ударного ускорения 150 g (рисунок 3, в) реальная амплитуда составила 158,15 g и длительность - 6 мс, при этом сигнал сильно зашумлен наложенными колебаниями с частотой 1,25 кГц.

Выводы. В заключении можно сделать следующие выводы: разработан новый алгоритм по определению параметров ударного импульса. Благодаря данному алгоритму появилась возможность анализа сильно зашумлённых сигналов и определения их параметров, что важно для дальнейшего исследования причины возникновения шумов, совершенствования конструкции стенда и анализа схемы измерения параметров удара. В дальнейшем планируется провести анализ конструкции на возможные причины возникновения колебаний при больших амплитудах ударов и при их выявлении провести модернизацию стенда.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Попов А.Н., Полищук М.Н. Испытательные машины. - монография. Екатеринбург: Изд-во «Уральский рабочий». – 2017. – 217 с.
2. ГОСТ Р ИСО 8568-2010. Стенд для ударных испытаний. Москва, Госстандарт, 2011. -28 с.
3. Полезная модель RU168467U1. Машина для ударных испытаний. Приоритет от 17.10.2016. Попов А.Н., Пуленец Н.Е., Тимофеев А.Н.
4. ГОСТ Р 51371-99. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие ударов. Москва, Госстандарт, 2000. -28 с.
5. Лем Г. Аналоговые и цифровые фильтры. – Москва: Изд-во «Мир». – 1982. – 302 с.

БАЛАНСИРОВКА РОТОРА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЦЕНТРИФУГИ

Актуальность. Промышленные испытательные центрифуги – особый вид технологического оборудования, который позволяет проводить контроль параметров изделий при их нагружении в широком диапазоне центростремительных ускорений. Они применяются в различных отраслях промышленности, но прежде всего в ракетно-космической, авиационной и оборонной.

Надежная работа центрифуг зависит от знания особенностей конструкции этого вида оборудования, а также правил монтажа, наладки, эксплуатации и ремонта [1].

Одним из важных вопросов, возникающих в процессе разработки и эксплуатации центробежных стендов, является их балансировка. Наличие статического и динамического дисбалансов в процессе работы центрифуги может оказывать влияние не только на ресурс работы машины, вызывая вибрации и дополнительное нагружение конструкции, прежде всего опор мотор-шпинделя, но и на точность получаемых ускорений. Однако имеющаяся по данному вопросу литература недостаточна.

Цели и задачи работы. Настоящая работа посвящена разработке методики балансировки центробежных стендов, на примере центрифуги ПЦ29 компании «Дельтамэк» (РФ) (рисунок 1) [2].

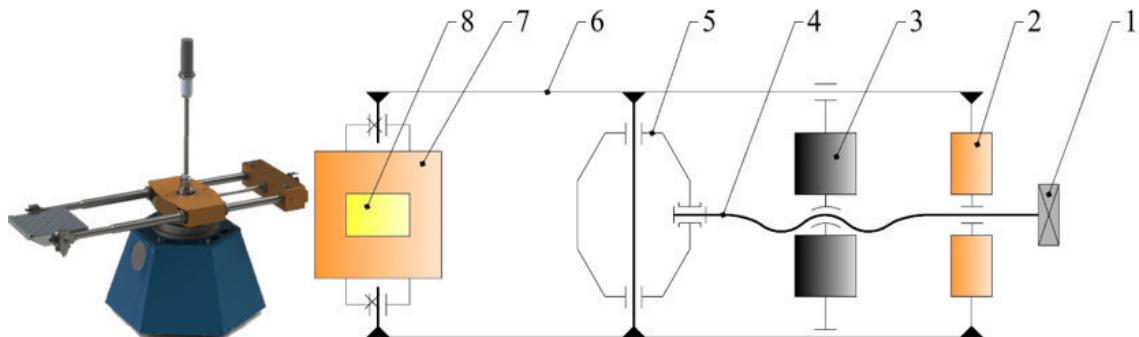


Рисунок 1. Центробежный станд ПЦ29 компании «Дельтамэк» (РФ) и его ротор
 1 – штурвал, 2 – неподвижный балансировочный груз, 3 – подвижный балансировочный груз,
 4 – ходовой винт, 5 –корпус, 6 – штанги, 7 – стол, 8 – изделие

Вращая штурвал 1, жестко связанный с ходовым винтом 4, подвижный груз 3 перемещается вдоль штанг 6. В определенном положении подвижный груз 3 и неподвижный груз 2 уравновесят стол 7 с установленным на нем изделием, и штанги займут горизонтальное положение.

Статическая балансировка ротора с изделием заключается в уравновешивании ротора относительно оси качания (рисунок 2). При вращении ротора центрифуги, вследствие того, что центры масс левой и правой частей ротора лежат вблизи плоскости, проходящей через шарнир качания, появляются опрокидывающие моменты, которые стремятся повернуть балку так, чтобы силы инерции оказались в одной плоскости, перпендикулярной оси вращения (рисунок 3).

Балка будет динамически сбалансирована, когда силы инерции уравновесят друг друга, при этом балка повернется на угол α . Этот угол выбирается исходя из требуемой точности

воспроизведения ускорений. При превышении допустимого значения угла α , срабатывают датчики силы (рисунок 2) и ротор перестает вращаться.

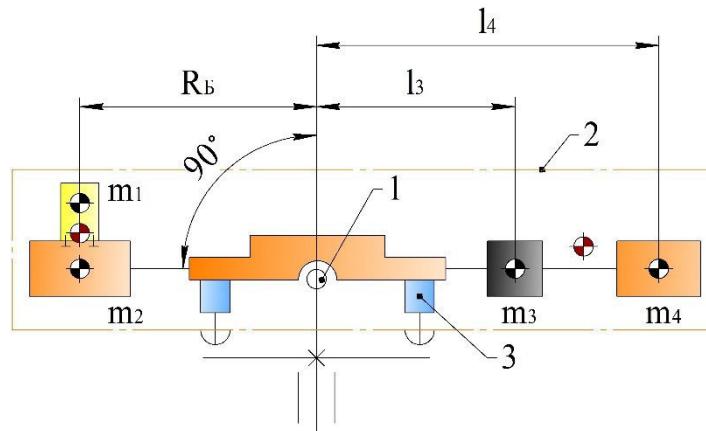


Рисунок 2. Статическая балансировка центрифуги
1 – шарнир качания ротора, 2 – ротор, 3 – датчик силы,

R_b – базовый радиус – расстояние от оси вращения ротора центрифуги до центра рабочего стола при его горизонтальном положении,

l_3 – расстояние от оси вращения ротора до центра масс (далее ЦМ) подвижного груза,

l_4 – расстояние от оси вращения ротора до ЦМ неподвижного груза, m_1 – масса стола,

m_2 – масса испытываемого изделия, m_3 – масса подвижного груза, m_4 – масса неподвижного груза

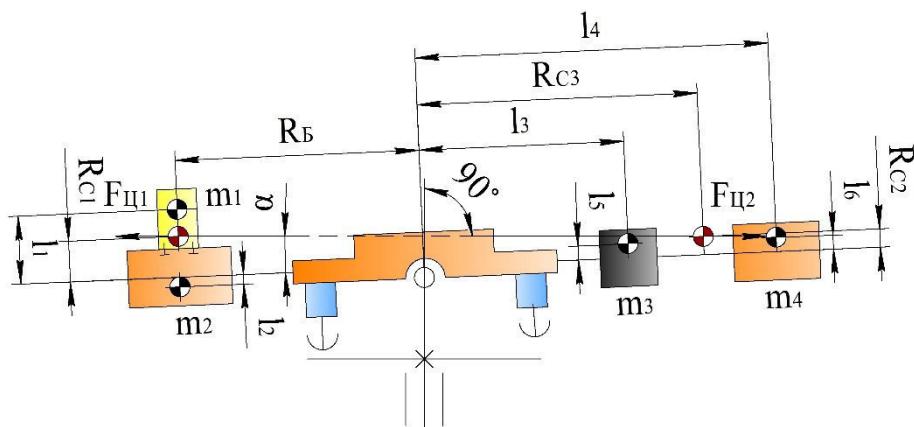


Рисунок 3. Динамическая балансировка центрифуги

R_b – базовый радиус, l_1 – расстояние от горизонтальной оси ротора до ЦМ стола,

l_2 – расстояние от горизонтальной оси ротора до ЦМ объекта испытаний, l_3 – расстояние от оси вращения ротора до ЦМ подвижного груза, l_4 – расстояние от оси вращения ротора до ЦМ неподвижного груза, l_5 – расстояние от горизонтальной оси ротора до ЦМ подвижного груза,

l_6 – расстояние от горизонтальной оси ротора до ЦМ неподвижного груза, R_{c1} – расстояние от горизонтальной оси ротора до общего ЦМ с левой стороны, R_{c2} – расстояние от оси вращения ротора до общего ЦМ с правой стороны, R_{c3} – расстояние от горизонтальной оси ротора до общего ЦМ с правой стороны, m_1 – масса стола, m_2 – масса испытываемого объекта, m_3 – масса подвижного груза, m_4 – масса неподвижного груза, α – угол наклона ротора центрифуги

На этапе разработки конструкции центробежного стенда, для осуществления балансировки, перед конструктором стоит задача определения масс подвижного и недвижимого грузов, которые статически и динамически уравновешивают испытываемое изделие. Эти массы можно найти из следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} (m_1 + m_2^{1,2}) \cdot R_B = m_3 \cdot l_3^{1,2} + m_4 \cdot l_4 \\ \arctg\left(\frac{R_{c1}^{1,2} - R_{c3}^{1,2}}{R_B + R_{c2}}\right) \leq \alpha \end{cases},$$

где $R_{c1}^{1,2} = \frac{m_1 \cdot l_1 - m_2^{1,2} \cdot l_1}{m_1 + m_2^{1,2}}$ – положение ЦМ левой части относительно горизонтальной оси балки;

$R_{c2} = \frac{m_3 \cdot l_5 + m_4 \cdot l_6}{m_3 + m_4}$ – положение ЦМ правой части относительно горизонтальной оси балки;

$R_{c3}^{1,2} = \frac{m_3 \cdot l_3^{1,2} + m_4 \cdot l_4}{m_3 + m_4}$ – положение ЦМ правой части относительно оси вращения ротора.

Индексы 1 и 2 соответствуют крайним случаям нагружения стола: $m_2^1 = 0$ кг и $m_2^2 = m_{\max}$.

Первые два уравнения позволяют найти различные значения масс подвижного и неподвижного грузов при различных значениях длин l_3 и l_4 .

Анализируя полученные выражения, можно сделать вывод, что с увеличением высоты положения ЦМ грузов относительно горизонтальной оси балки уменьшается угол наклона балки, следовательно, при конструировании необходимо предусмотреть возможность регулировки положения ЦМ неподвижного груза. Кроме того, добиться уменьшения угла наклона балки можно, реализовав, при необходимости, возможность закрепления дополнительных грузов – динамических противовесов – под столом для уменьшения высоты положения ЦМ с левой стороны ротора.

Как уже отмечалось ранее, в центрифуге ПЦ29 балансировка осуществляется вручную. Однако более современным решением будет автоматизация процесса балансировки посредством дополнительного двигателя (рисунок 4).

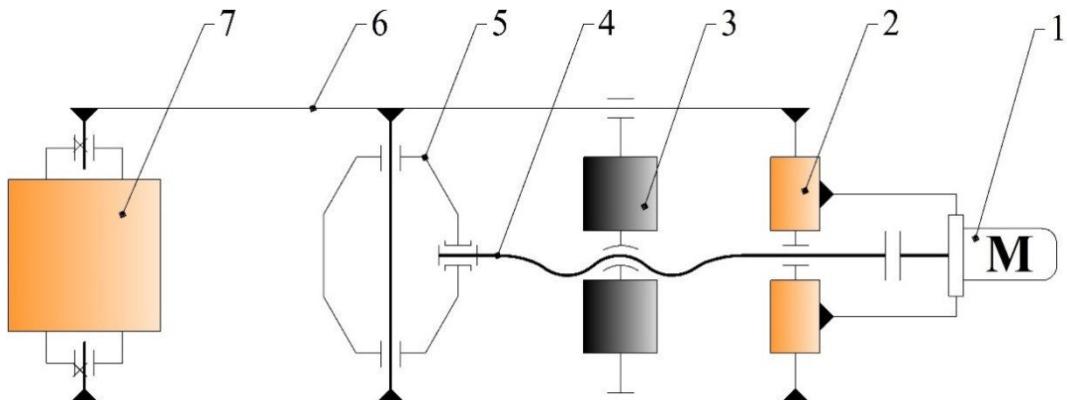


Рисунок 4. Кинематическая схема центрифуги с автоматической балансировкой

1 – двигатель, 2 – неподвижный балансировочный груз, 3 – подвижный балансировочный груз, 4 – ходовой винт, 5 – траверса, 6 – штанги, 7 – стол

Особенностью данного решения является жесткое крепление электродвигателя 1 и редуктора 2 с неподвижным грузом 3. Перемещение подвижного груза 4 осуществляется по сигналам с датчиков силы или путевым выключателям, взаимодействующими с ротором при его статической балансировке [3].

Выводы. По результатам работы была получена методика расчета значений масс неподвижного и подвижного грузов для статической и динамической балансировки роторов центробежных стендов. Получены рекомендации к конструированию роторов

центробежного стенда. Синтезирована кинематическая схема центрифуги с автоматической балансировкой ротора.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лукьяненко В.М. Промышленные центрифуги / В.М. Лукьяненко, А.В. Таранец. – М.: Химия, 1974. – 376 с.
2. Сайт компании «Дельтамэк». – Режим доступа: <http://deltamec.ru>. Дата обращения: 01.10.2019 г.
3. Попов А.Н. Испытательные машины / А.Н. Попов, М.Н. Полищук, А.Н. Тимофеев. – Екатеринбург, 2017. – 217 с.

УДК 620.1.052.4

М.Н. Полищук, Д.С. Штрекер

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАТЕЛЯ УДАРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Проведение ударных испытаний является важным этапом при разработке любого изделия: от микроэлектроники и часов до сложных узлов в авиационной и аэрокосмической промышленности. Во время эксплуатации и перевозки все изделия подвергаются ударным воздействиям. Крайне важно, чтобы объекты выдерживали удары и сохраняли свои эксплуатационные характеристики. Проверить это целесообразнее всего в процессе ударных испытаний, которые проводятся на специальных стендах – ударных машинах [1].

Каждое изделие, в соответствии со стандартами, должно выдерживать ударные импульсы определенной амплитуды, длительности и формы. На практике длительность и форма ударных импульсов реализуются путем подбора формирователей импульса, а пиковое значение ускорения – значением скорости объекта перед ударом [2].

Формирователи ударного импульса изготавливаются из эластичного гиперупругого материала, например, полиуретана и имеют цилиндрическую форму (рисунок 1). Верхняя (коническая) часть необходима, чтобы материал под действием ударной нагрузки деформировался постепенно, без искажения формы импульса.



Рисунок 1. Формирователи ударного импульса

Исследованию формирователей посвящен целый ряд научных публикаций [3-5]. Однако, до настоящего времени отсутствуют простые методики выбора формирователей, обеспечивающие требуемые (задаваемые при испытаниях) параметры ударных импульсов (пиковые значения и длительности). Это во многом обусловлено нестабильностью свойств гиперупругих материалов.

В [6] для выбора формирователя предложен подход, основанный на определении его силы упругости по воспроизведому ударному импульсу. Он позволяет оценить эту силу для конкретного формирователя по единственному эксперименту. Проблема, однако, заключается в том, что импульсы ускорений, даже на одном режиме, сильно различаются, и это ставит под сомнение адекватность данного приема.

Поэтому предпочтительным представляется другой подход – определение силы упругости на основе моделирования удара в системе конечно-элементного анализа. В данном случае предварительный эксперимент на реальной ударной машине не нужен, все необходимые действия по подбору формирователя для конкретного режима работы ударной машины могут быть выполнены предварительно.

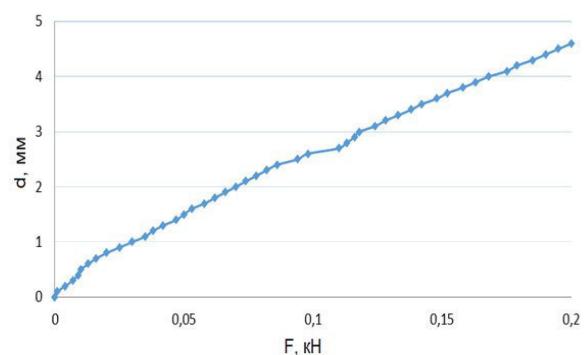
Реализуется предлагаемый подход в несколько этапов:

- проводится эксперимент по определению статической зависимости деформации материала, из которого изготовлен формирователь, от приложенной при сжатии нагрузки;
- на основе этой зависимости подбирается модель гиперупругого материала и вычисляются его характеристики;
- строится компьютерная модель ударного взаимодействия для формирователя и исследуется его деформированное состояние при динамическом воздействии, определяется зависимость силы упругости формирователя от его деформации.

Эксперимент по определению статической характеристики деформации материала формирователя от приложенной при его сжатии нагрузки был выполнен на прессе А.Г. Гагарина (рисунок 2, *a*) для образца простой цилиндрической формы. Полученная зависимость (близкая к линейной) представлена на рисунке 2, *б*.



a



б

Рисунок 2. Определение свойств формирователя: *a* – пресс А.Г. Гагарина; *б* – график зависимости абсолютной деформации формирователя от приложенной силы

Далее аналогичная задача статического сжатия образца решалась с помощью ANSYS. При этом в качестве исходной информации вводилась экспериментально снятая характеристика, задавались различные виды моделей материала, а встроенные средства ANSYS использовались для подбора параметров для соответствующих моделей. Достаточно хорошее совпадение компьютерного моделирования и эксперимента было получено для двухпараметрической модели Муни-Ривлина.

После того, как была определена модель материала, выполнялся расчет уже для конкретного формирователя (высота – 45 мм, диаметр – 150 мм, твердость по Шору – 65А, динамическая нагрузка – 7000 кгс). Компьютерная модель в ANSYS для определения функциональной зависимости силы упругости формирователя от его деформации представлена на рисунке 3.

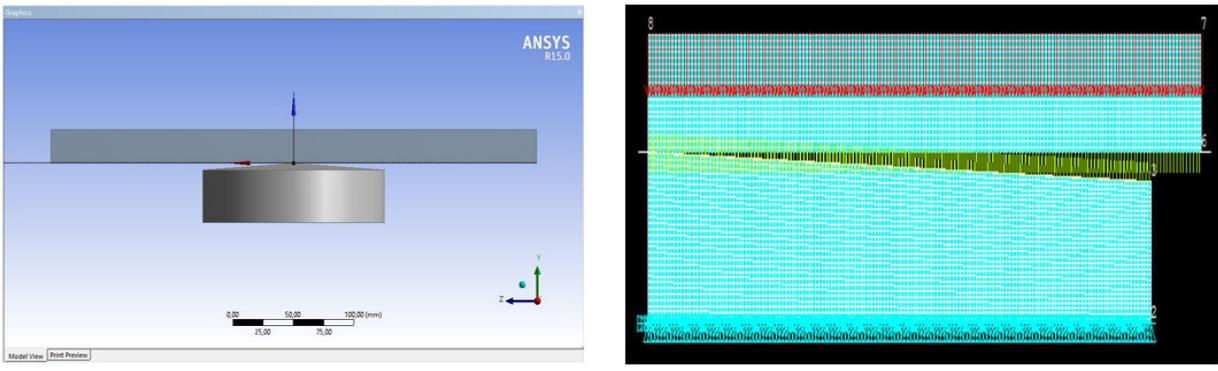


Рисунок 3. Моделирование удара в *ANSYS*: *а* – исходная модель; *б* – деформированное состояние

В результате для конкретного формирователя получена нелинейная зависимость силы упругости формирователя $f(x)$, Н от абсолютной деформации x , м. Тренд зависимости аппроксимируется выражением $f(x) = 10^{11} \cdot x^3 - 2 \cdot 10^9 \cdot x^2 - 10^6 \cdot x - 97,015$.

Имея подобную зависимость, можно «предсказать» характеристики удара на основе имитационной модели динамики удара: $m\ddot{x} = -f(x)$, $x(0) = 0$, $\dot{x}(0) = v_0$, где m – масса объекта, v_0 – начальная скорость при соударении, $f(x)$ – характеристики силы упругости формирователя.

На рисунке 4 для иллюстрации указанного подхода приведены результаты моделирования в *Matlab Simulink* и экспериментальный импульс ускорения для одного и того же режима удара.

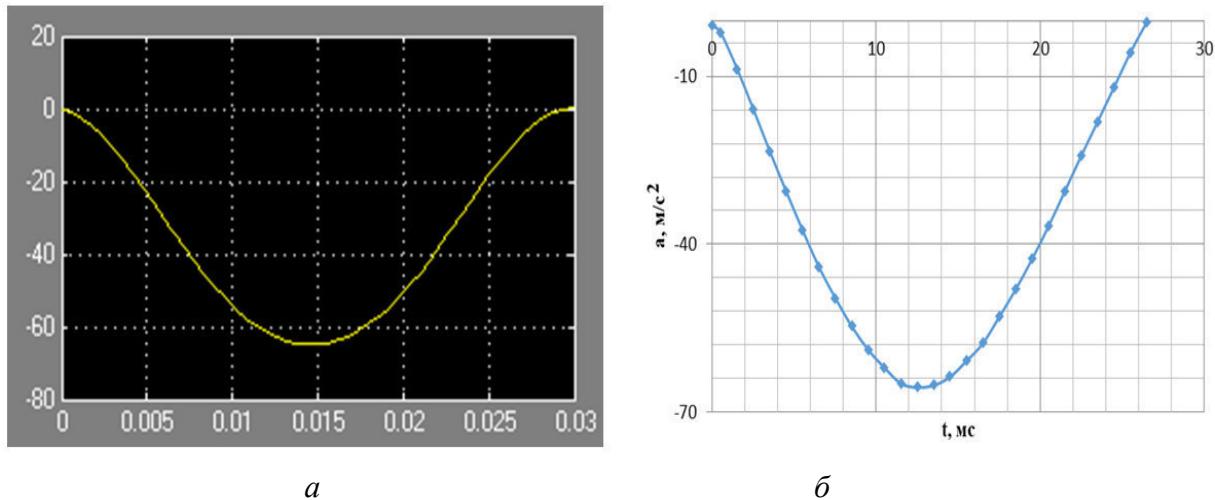


Рисунок 4. Ударные импульсы: *а* – результат моделирования; *б* – результат эксперимента

Полученные зависимости подтверждают достаточно высокую эффективность моделирования. Расхождение результатов моделирования с экспериментальными данными попадают в допустимый по ГОСТ $\pm 15\%$ интервал для воспроизводимого импульса ускорений.

ЛИТЕРАТУРА:

- Попов А.Н., Полищук М.Н., Тимофеев А.Н. Испытательные машины. - Екатеринбург: Изд-во «Уральский рабочий». – 2017. – 217 с.

2. Попов А.Н., Полищук М.Н., Пуленец Н.Е. Моделирование импульса при ударных испытаниях // Современное машиностроение. Наука и образование. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2019. № 8. С. 513–526.
3. Попов А.Н., Полищук М.Н., Васильев А.К. Выбор формирователя для получения ударного импульса требуемой формы // Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. 2016. С. 3-6.
4. J. Wen, Ch. Liu, H. Yao, B. Wu. A nonlinear dynamic model and parameters identification method for predicting the shock pulse of rubber waveform generator, International Journal of Impact Engineering, 120 (2018) 1–15.
5. Полищук М.Н., Пуленец Н.Е., Штрекер Д.С. Исследование формирователей ударного импульса // Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. 2018. С. 27-30.
6. Попов А.Н., Полищук М.Н., Пуленец Н.Е. Определение характеристики силы упругости формирователя ударных импульсов // Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. 2018. С. 3-6.

УДК 621.868.238.66

А.В. Козлович, А.Н. Волков, О.В. Кочнева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВОЗДУШНАЯ ПОДУШКА ВЫКАТНОГО ПОЛЯ СТАДИОНА «ГАЗПРОМ-АРЕНА»

Введение. Воздушная подушка широко применяется в транспортных средствах. Обычно она используется в двух случаях:

- создание транспорта повышенной проходимости (суда на воздушной подушке);
- уменьшение сил сопротивления при перемещении больших масс с целью повышения управляемости.

В зависимости от решаемой задачи требования, предъявляемые к воздушной подушке, существенно отличаются. Так, для судна на воздушной подушке, например десантного корабля, необходимо, чтобы уплотнение имело повышенную прочность, поскольку подобные транспортные средства перемещаются по пересеченной местности. При этом мощность нагнетателя, создающего избыточное давление может достигать 5 МВт, поскольку для судов на воздушной подушке характерны большие утечки воздуха в следствии больших зазоров между уплотнением и опорной плоскостью.

А вот для выкатного поля стадиона «ГАЗПРОМ-АРЕНА», в котором воздушная подушка используется для компенсации массы засыпки [4, 5], прочность уплотнения не является критическим параметром, поскольку поле перемещается по ровной бетонной платформе. Ровная поверхность бетона позволяет не только использовать более мягкие материалы при создании уплотнения, но и максимально снизить величину гарантированного зазора между ней и уплотнением, что позволяет использовать нагнетатели с меньшими мощностными и расходными характеристиками.

Цель работы. Целью работы является исследование зависимости мощностных и расходных характеристик нагнетателя воздушной подушки от ширины уплотнения и величины гарантированного зазора на примере выкатного поля стадиона «ГАЗПРОМ-АРЕНА».

Выкатное поле стадиона «ГАЗПРОМ-АРЕНА» (рисунок 1, *a* и рисунок 1, *б*) представляет собой платформу длиной 120 м и шириной 80 м. Данная платформа установлена на опорные ролики, а сверху на ней располагается дренажная система и грунт – так называемая засыпка поля.

По передней и задней стороне платформы установлены тяговые тележки, с помощью которых осуществляется перемещение поля по рельсам. Также там расположены

нагнетатели, с помощью которых создается избыточное давление в полости под выкатным полем. По периметру поля располагается резиновое уплотнение.



Рисунок 1. Фрагмент выкатного поля стадиона «ГАЗПРОМ-АРЕНА» с установленным на нем уплотнением (а) и его схема (б)

В данном случае воздушная подушка используется для компенсации веса засыпки поля. Конструкция уплотнения, установленного по периметру выкатного поля, позволяет менять величину гарантированного зазора между уплотнением и плоскостью основания. Это влияет на необходимые расходные и мощностные характеристики нагнетателей, с помощью которых создается избыточное давление под выкатным полем.

Для исследования процесса истечения воздуха из-под уплотнения предложена математическая модель, описывающая зависимость скорость истечения воздуха V от величины компенсируемого веса M , габаритов выкатного поля A и B , ширины уплотнения L , а также величины гарантированного зазора h [1, 2].

Дальнейшие исследования производились для случаев, когда величина гарантированного зазора h составляла 1, 2.5, 5, 10 мм. Для данных случаев были получены зависимости [3], отражающие влияние увеличения величины компенсируемого веса M на требуемый расход нагнетателя Q и его требуемую мощность N (рисунок 2, а и рисунок 2, б).

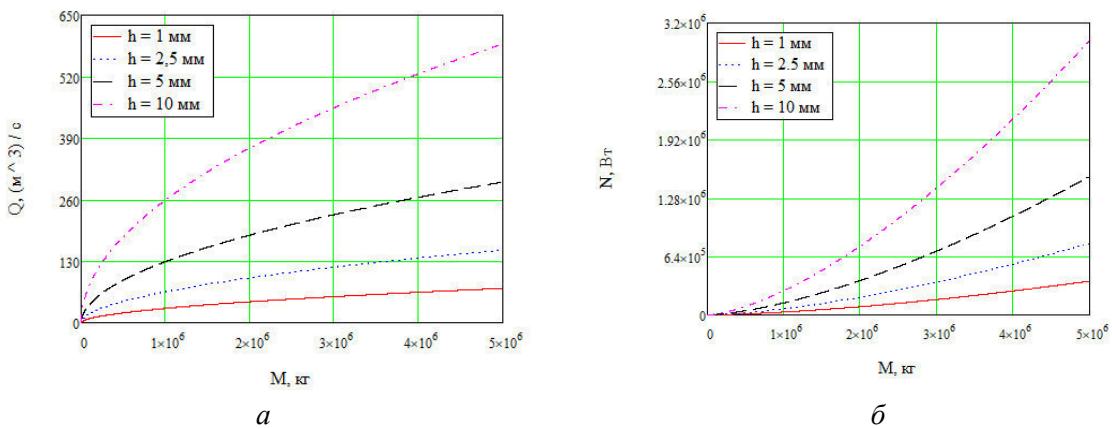


Рисунок 2. Зависимость требуемого расхода нагнетателя Q (а) и требуемой мощности нагнетателя N (б) от величины компенсируемого веса M при различных гарантированных зазорах h

Также была исследована зависимость [3] требуемого расхода нагнетателя Q и требуемой мощности нагнетателя N от ширины уплотнения L при различной величине гарантированного зазора h (рисунок 3, a и рисунок 3, δ).

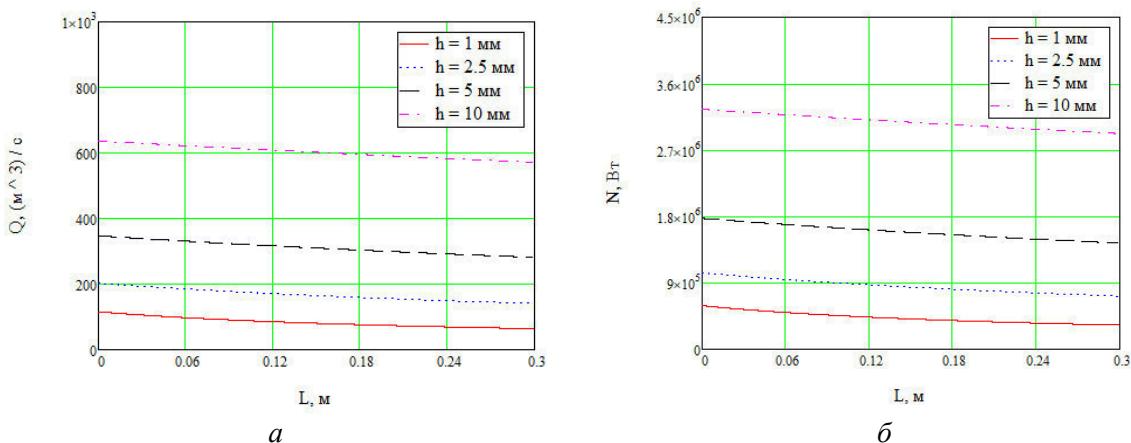


Рисунок 3. Зависимость требуемого расхода нагнетателя Q (a) и требуемой мощности нагнетателя N (δ) от ширины уплотнения L при различной величине гарантированного зазора h

При выбранных параметрах гарантированного зазора между уплотнением поля и полом h , равным 1 мм и при ширине уплотнения L , равной 212 мм, потребная мощность нагнетателей воздушной подушки составляет 260 кВт. При увеличении гарантированного зазора в 2,5 раза ($h = 2,5$ мм) потребная мощность увеличивается в 2,1 раз ($N = 550$ кВт), а при уменьшении ширины уплотнения в 2,5 раза ($L = 85$ мм) потребная мощность увеличивается в 1,8 раз ($N = 470$ кВт).

Расчеты также показали, что при заданной и ограниченной мощности нагнетателей величина компенсируемого веса M уменьшается в 4 раза при увеличении гарантированного зазора h в 10 раз (при $h = 10$ мм величина $M = 1000$ т).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика/ А.Д. Альтшуль, П.Г. Кисилёв // учебное пособие для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1975. – 323 с.
2. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/ Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
3. Демидович Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А. Марон: 2-е изд., перераб. и доп. – М.: издат. «Наука», 1966. – 664 с.
4. Волков А.Н., Брунман В.Е., Козлович А.В., Постнов Р.В. Выдвижное футбольное поле для крытого стадиона. Патент RU 161 988 U1
5. Волков А.Н., Брунман В.Е., Козлович А.В., Постнов Р.В. Ограждение платформы на воздушной подушке. Патент RU 162 063 U1

ВЫЧИСЛЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ КОРРЕКТНОЙ РАБОТЫ ВИБРОФУГИ

Введение. На сегодняшний день испытательные исследования входят в жизненный цикл при конструировании и проектировании различных новых технических объектов, приборов и т.д. Для проведения таких исследований используются испытательные стенды. Испытательный стенд – лабораторное оборудование, которое воспроизводит специализированные контрольные испытания над испытуемыми техническими объектами [1].

В данной работе объектом изучения является испытательный стенд центрифуга, на роторе которой закреплена пневматическая «пружина» с электромеханическим вибратором (вибровибратором). Такой стенд может воспроизводить центробежные силы и вибрационные усилия. Такие нагрузки чаще всего встречаются в космической, военной и авиапромышленности [2].

В данной статье исследуется совместная работа пневматической «пружины» с электромеханическим вибратором во время вращения ротора центрифуги на постоянной скорости. При определенных начальных параметрах, таких как скорость, размеры установки, давление в камере пневмопружины и т. д., стенд может работать исправно или некорректно. Необходимо вычислить начальные параметры, при которых установка будет работать исправно. Учитывая возможности описанного испытательного стендса и об областях его применения, актуальность работы не подлежит сомнению.

Цель работы – вычислить начальные параметры испытательного стендса, при которых установка будет работать корректно.

В рассматриваемой установке рассматривается электромеханический вибратор со следующими техническими характеристиками: колебания в форме синусоиды, частота колебаний от 5 до 2000 Гц, максимальное усилие составляет 5000 Н, максимальная скорость составляет 2 м/с. Схема работы пневматической пружины с электромеханическим вибратором во время вращения ротора центрифуги представлена на рисунке 1.

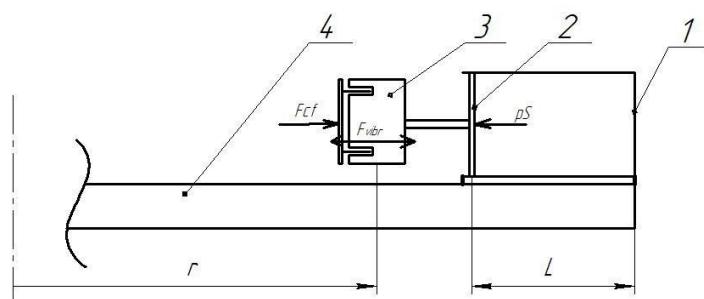


Рисунок 1. Схема работы пневматической пружины совместно с электромеханическим вибратором при вращении ротора центрифуги

На схеме во время вращения ротора (поз. 4), центробежная сила F_{cf} воздействует на электромеханический вибратор (поз. 3) на расстоянии r (радиус от оси вращения). В свою очередь электромеханический вибратор воздействует на поршень цилиндра (поз. 2) F_{vibr} . Длина камеры пневмопружины (поз. 1) L . Из камеры пневмопружины, в свою очередь давление газа воздействует на поршень в противоположном направлении центробежной силы pS .

Во время работы такой схемы поршень, воспринимая на себя центробежную силу и вибрационные усилия, совершают смещения. Необходимо вычислить эти смещения при определенных начальных параметрах системы. Через законы динамики механических систем и учитывая указанные силы на рисунке 1, получаем следующее уравнение:

$$M \frac{d^2 L}{dt^2} = F_{cf} + F_{vibr} - pS, \quad (1)$$

где M - общая масса электромеханического вибратора и поршня, кг, $\frac{d^2 L}{dt^2}$ - ускорение механической системы (механический вибратор, поршень), м/с², F_{cf} и F_{vibr} - центробежная сила вращения ротора и вибрационная сила соответственно, Н, pS - сила, действующая на поршень с внутренней стороны камеры цилиндра, где p - давление газа в камере, S - площадь поршня.

На основании выражения 1 и учитывая закон $pV = const$ можно вывести формулу вычисления значения смещения поршня в камере цилиндра в каждый момент времени [3]:

$$dL = v_{i-1} dt + \frac{a(dt)^2}{2} \quad (2)$$

Взяв за основу следующие начальные параметры: общая масса электромеханического вибратора и поршня, длина ротора, угловая скорость вращения ротора, радиус от оси вращения до электромеханического вибратора, максимальное усилие электромеханического вибратора, его частоту и площадь поршня получаем следующие вычисления смещений поршня внутри пневмопружины (рисунок 2):

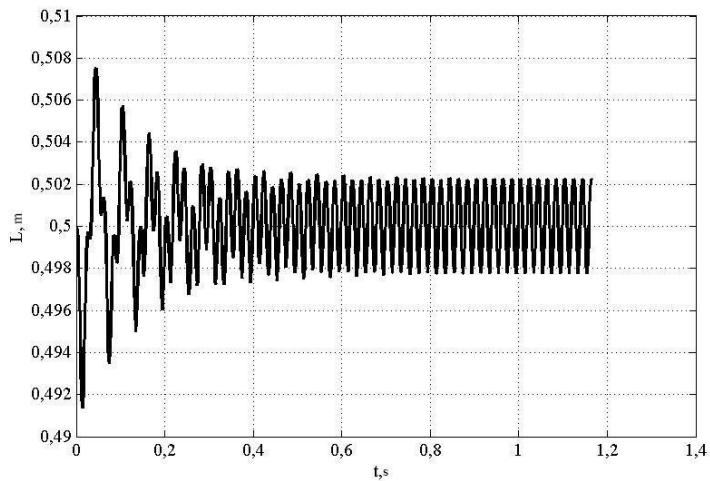


Рисунок 2. Смещения поршня относительно времени

Рисунок 2 наглядно показывает характер смещений поршня под воздействием центробежных и вибрационных сил, где работа установки приходит в установившийся режим. Варьируя начальные параметры, можно получить разные графики поведения поршня [4]. Самые влияющие начальные параметры – скорость вращения ротора и максимальное усилие электромеханического вибратора. Варьируя эти параметры, получился схематический рисунок областей работы установки (рисунок 3).

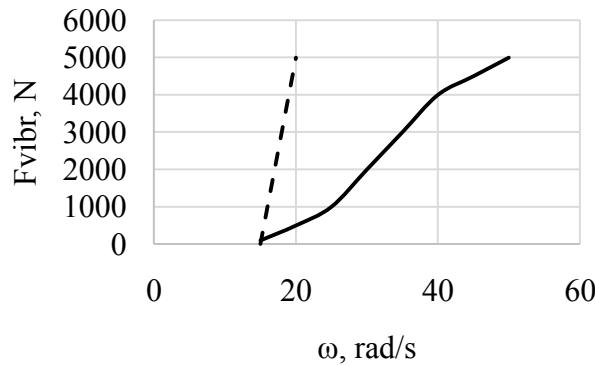


Рисунок 3. Графики значений усилия механического вибратора от скорости вращения ротора

На рисунке 3 сплошная линия и вся правая область графика – значения, при которых стенд работает стабильно. Штриховая линия и область графика слева от этой линии – значения, при которых стенд работает некорректно, время установившегося режима превышает 5 сек. В области между штриховой и сплошной линиями наблюдается корректная работа, где время установившегося режима составляет менее 5 сек.

Результаты. По итогам работы выяснилось, что самые «чувствительные» начальные параметры для корректной работы установки – скорость вращения ротора и максимальное усилие электромеханического вибратора. Эмпирическим путем выяснились значения «чувствительных» параметров, при которых установка работает корректно и некорректно.

Вывод. Исследование работоспособности установки, которое представлено в этой работе, важная часть для проведения дальнейшей работы по исследованию виброфуги в целом. Известны наиболее «чувствительные» параметры и их значения для корректной работы установки. Однако здесь не учитывается тот факт, что давление газа внутри пневмоподушки перераспределяется при вращении ротора [5].

ЛИТЕРАТУРА:

- Попов А.Н. Стенды для механических испытаний: учебное пособие / А.Н. Попов, М.Н. Полищук, Ал.Н. Тимофеев. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 200 с.
- Каразин В.И., Козликин Д.П., Хлебосолов И.О. Динамические стенды для виброротационных испытаний // Научно – технические ведомости СПбГТУ. – СПб: издание СПбГПУ; №3(45). – 2006. – с. 44-49.
- Клюкин В.Ю., Козликин Д.П., Крохмаль В.В. Исследование работы пневматической «пружины» виброфуги // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Институт metallургии, машиностроения и трансопрата. Ч. 2. – СПб. : Изд-во Политехн. Ун-та, 2017. – с. 9-11.
- Клюкин В.Ю., Крохмаль В.В., Волков А.Н. Исследование влияния пневмопружины на точность испытания в виброфуге // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, 19-24 ноября 2018 г. Институт metallургии, машиностроения и трансопрата. Ч. 2. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. – с. 14-17.
- Krokhmal V.V., Klyukin V.Yu., Sorokina E.V. Distribution of the pressure of gas under the action of centrifugal forces, AER-Advances in Engineering Research (vol. 157), s.319-324 doi: 10.2991 / aime-18.2018.62.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОВЫХ ПРИВОДОВ РОБОТОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КАК МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Цикловые приводы являются наиболее распространёнными в различных отраслях промышленности. Основными критериями выбора привода для любой машины являются установленная мощность и энергопотребление. Особенно актуальны эти критерии при проектировании оборудования, работающего от автономных источников питания с ограниченным ресурсом, или при модернизации производств в условиях ограничений на установленную мощность. Основной особенностью работы циклового привода является ритмичное потребление энергии, как правило, с пиками или полным отсутствием мгновенной потребляемой мощности. В работе [1] и [2] показано, что правильный выбор типа закона движения и его параметров при заданных времени цикла T и величине перемещения выходного звена машины q могут обеспечить минимум максимального значения мгновенной потребляемой мощности при минимальном или приемлемом значении потребляемой за цикл энергии. В [3] предложена методика синтеза таких законов движения, при которых обеспечивается постоянная по величине, и, следовательно, минимально возможная мгновенная мощность при минимальных энергетических затратах. Особенно, сложно выбрать рациональный закон движения для цикловых мехатронных приводов с вертикально перемещающимися массами. Такие приводы широко применяются в грузоподъемных машинах, робототехнике нефтедобычи и проч. В работе [4] показано, что машинах, работающих с большими ускорениями, уравновешивание вертикально перемещающихся масс может приводить к увеличению максимального значения мгновенной мощности. В докладе представлены результаты исследования зависимости максимальной мгновенной мощности и энергопотребления для приводов цикловых приводов с вертикально перемещающимися массами от степени уравновешивания и закона движения.

Расчетная схема привода представлена на рисунке 1. Асинхронный двигатель АИР 71В4 М через редуктор P с передаточным числом $i = 40$ связан с зубчатой шестерней с делительным диаметром $R = 0,06\text{м}$. Зубчатая рейка с полезным грузом массой $m = 300 \text{ кг}$. Перемещается в вертикальном направлении. Коэффициент приведения момента инерции и ротора двигателя к выходному звену обозначен через α . Зубчатая рейка выполняет роль противовеса, уравновешивающего подвижную массу m с коэффициентом β ($0 \leq \beta \leq 1$).

В работе исследованы пять вариантов законов движения привода с полным уравновешиванием вертикально перемещающихся частей и без такового. Для всех случаев приняты одинаковые времена диссилиативного торможения и длины участков торможения. С учетом этого обстоятельства для простоты математических выкладок рассматривается только участок траектории без фазы торможения.

В общем случае уравнение движения имеет вид (1):

$$[m \cdot (1 + \alpha + \beta) \cdot q'' + F + (1 - \beta) \cdot g \cdot m] \cdot q' = N(q') \quad (1)$$

где q' , q'' – скорость и ускорение рейки с полезным грузом (являются функциями от времени), $N(q')$ – мгновенное значение мощности, $\alpha = J \cdot u^2 / (R^2 \cdot m)$ – коэффициент приведения момента инерции ротора мотора J к выходному звену, $\beta = m_n/m$, m_n – масса противовеса.

В первом случае закон движения выбран так, чтобы обеспечить минимум максимального значения потребляемой мгновенной мощности. Очевидно, что минимальное значение мгновенной мощности соответствует выполнению условия $N(q') = \text{const}$. Во

втором случае рассмотрено не управляемое движение привода (прямое включение и отключение мотора посредством пускателя). В этом случае уравнение (1) следует записать в виде:

$$m \cdot (1 + \alpha + \beta) \cdot q'' + F + (1 - \beta) \cdot g \cdot m = M(q') \quad (2)$$

где $M(q')$ - механическая характеристика асинхронного двигателя. В третьем случае задается закон движения с равноускоренным разгоном и участком равномерного движения. Соотношение времени разгона и торможения выбрано таким образом, чтобы обеспечить минимум максимального значения мгновенной мощности [1]. В четвертом случае выбран идеальный закон движения (как и в первом случае), но с ограничением тягового момента асинхронного двигателя. В пятом случае имеет место равноускоренный разгон и отсутствует равномерное движение.

Зависимости мгновенной мощности от времени для принятых выше законов движения представлены на рисунке 2. Дополнительный разряд индекса со значением «0» означает, что график построен для полностью не уравновешенного механизма ($\beta = 0$).

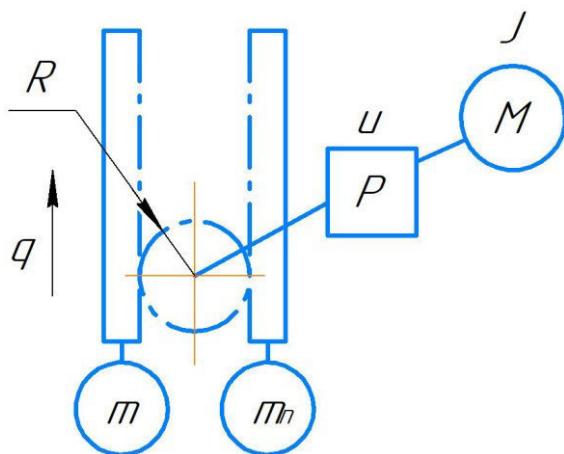


Рисунок 1. Расчетная схема мехатронного привода

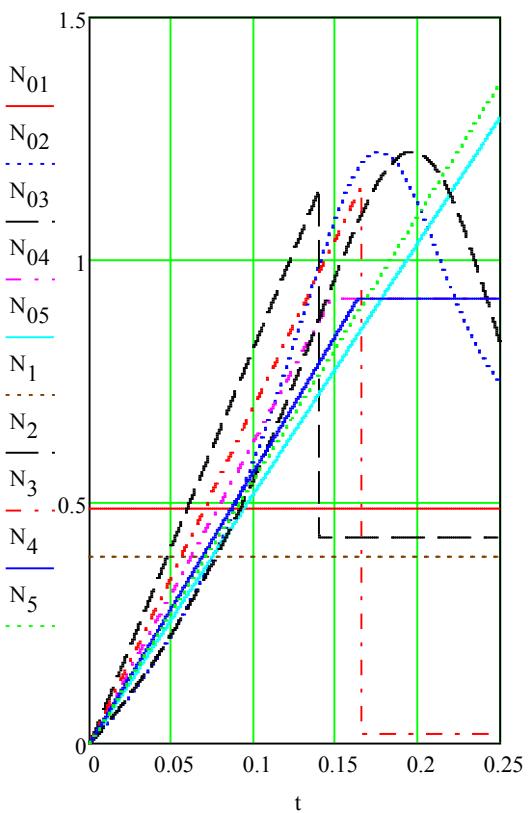


Рисунок 2. Законы изменения мгновенной мощности от времени для различных законов движения (при $\beta = 0$ и $\beta = 1$)

На рисунке 3 показаны зависимости мгновенной мощности для оптимального закона движения с ограниченным тяговым моментом двигателя. Здесь зависимость N_4 от времени соответствует приводу с максимальным моментом выбранного асинхронного двигателя M , N_6 – двигателю с максимальным моментом $1,25M$, а N_7 – двигателю с максимальным моментом $1,5M$. Ноль в индексе мощностей указывает на отсутствие уравновешивания ($\beta = 0$). На рисунке 4 представлена диаграмма зависимости энергии, потребляемой за один цикл при различных законах движения и различной степени уравновешивания механизма ($\beta = 1$ – левый столбец и $\beta = 0$ – правый столбец).

Анализ представленных графиков показал следующее. Во-первых, с точки зрения минимизации наилучшим является первый закон движения независимо от степени уравновешивания β . Однако все современные двигатели имеют ограничение тягового момента. Во-вторых, для рассматриваемого примера при втором, третьем и четвертом типах законов движения максимальная мгновенная мощность не зависит от степени уравновешенности механизма. При оптимальном законе движения уравновешивание приводит к уменьшению максимальной мгновенной мощности на 21% (за счет преобладания мощности, затрачиваемой на преодоление сил инерции), а при пятом типе закона движения – к увеличению максимальной мощности на 5%. Во-третьих, при наличии ограничения на тяговый момент независимо от степени уравновешенности механизма максимальное значение мгновенной мощности увеличивается на 135%. В-четвертых, самым неблагоприятным является закон движения, при котором есть равноускоренный разгон и отсутствует равномерное движения. В-пятых, минимальное энергопотребление обеспечивает оптимальным (первым) типом закона движения. Однако из реальных законов движения по критерию энергосбережения предпочтительным является третий тип закона движения.

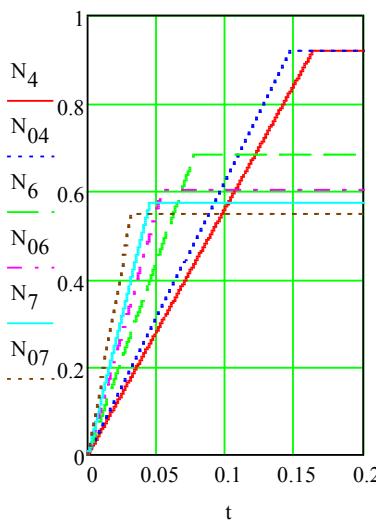


Рисунок 3. Законы изменения мгновенной мощности от времени для привода с оптимальным законом движения с учетом ограничения тягового момента

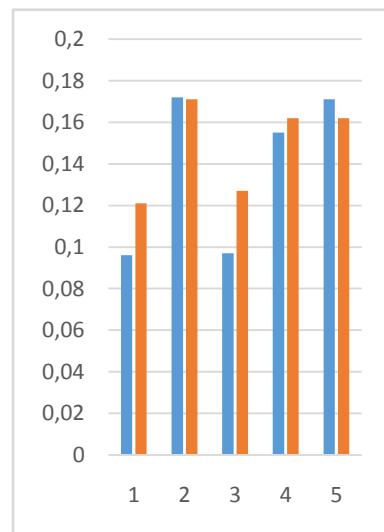


Рисунок 4. Диаграмма зависимости энергии (Дж) одного цикла в зависимости от закона движения и степени уравновешивания механизма

Заключение. Для цикловых приводов целесообразно выбирать двигатели с максимальными пусковыми моментами. С целью снижения максимальной мгновенной потребляемой мощности следует использовать специально синтезированные законы движения. Для выбора заданного сочетания потребляемой мощности и энергопотребления необходимо синтезировать специальный закон движения для первого этапа перемещения, а на заключительном этапе двигаться с постоянной скоростью.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мацко О.Н., Волков А.Н., Мосалова А.В. Выбор энергосберегающих законов движения мехатронных приводов технологических машин// Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. Том 24. №4 – с.141-149.

2. Исаев Н.И., Сазонов В.Г. Электропривод механизмов циклического действия -М., Энергоатомиздат, 1994. – 144 с.: ил.
3. Волков А.Н., Корнилова А.А., Мацко О.Н., Синтез оптимальных законов управления цикловыми приводами// Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2018: Сборник тезисов Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 12-13 апреля 2018 г. - СПб.: РИЦ Горного университета, 2018. - С. 22
4. Лазарев Р.А., Мацко О.Н., Волков Н.А. Повышение энергоэффективности мехатронных цикловых приводов// Неделя науки СПбПУ: м-лынаучн. конференции с междунар. участием. Лучшие доклады. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. С. 79-82.

УДК 62-529

Е.А. Фатеева, А.Т. Орлов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИЗУЧЕНИЕ И НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ АППАРАТА БАЛЛОНОЙ ОККЛЮЗИИ АОРТЫ

Введение: Одной из основных причин летального исхода при тяжёлых ранениях и травмах являются обильные кровопотери. На данный момент не разработано эффективного средства для остановки кровотечения на догоспитальном этапе при оказании экстренной медицинской помощи [1]. Среди наиболее перспективных методов временной остановки кровотечения можно выделить эндovаскулярную баллонную окклюзию аорты.

Актуальность: Выполнение процедуры баллонной окклюзии аорты сегодня связано с необходимостью непрерывно в ручном режиме контролировать наполнение баллона, отслеживая показатели датчиков давления. Автоматическое регулирование позволит осуществлять своевременную коррекцию наполнения баллона, а также избегать скачков давления, которые неизбежны при ручном управлении. Таким образом, будет возможен контроль давления пациента в течение длительного времени.

Постановка задачи: Разрабатываемая система автоматического управления должна обеспечить достижение необходимого уровня заполнения баллона в течении 10 секунд с минимальной установившейся ошибкой.

Методы исследования: В данной работе будут рассмотрены три наиболее распространённых вида регуляторов: П, ПИ и ПИД-регуляторы. Для поиска оптимальных параметров регулятора использовались две вариации метода Циглера-Никольса.

Результаты: Регулирование производится по принципу обратной связи, основываясь на отклонении от заданного значения регулируемой величины – артериального давления.

Первый метод Циглера-Никольса основан на реакции системы на единичный скачок. Подбор коэффициентов регулятора производится методом проведения касательной к точке максимального наклона переходной характеристики объекта управления при подаче на вход объекта управления ступенчатого воздействия, по которой определяются параметры передаточной функции [2, 3, 4].

Найдены следующие параметры передаточной функции: постоянная времени $T = 1,65\text{с}$, время запаздывания $t = 2,5\text{с}$, коэффициент передачи $k = 23,9$.

Второй вариант метода Циглера-Никольса основан на частотных характеристиках объекта управления. Путём постепенного увеличения пропорционального коэффициента до критического значения, система была выведена в состояние граничной устойчивости [2, 3, 4].

Найдены соответствующий коэффициент пропорциональности $k_p^* = 0,4$ и период полученных собственных затуханий системы $T = 6,29 \text{ с}$.

По полученным значениям параметров вычислены коэффициенты для П, ПИ и ПИД регуляторов по соответствующим формулам [2].

Переходные характеристики системы с П-регулятором для приведённых вариантов метода Циглера-Никольса представлены на рисунке 1.

Переходные характеристики системы с ПИ-регулятором для приведённых вариантов метода Циглера-Никольса представлены на рисунке 2.

Переходные характеристики системы с ПИД-регулятором для приведённых вариантов метода Циглера-Никольса представлены на рисунке 3.

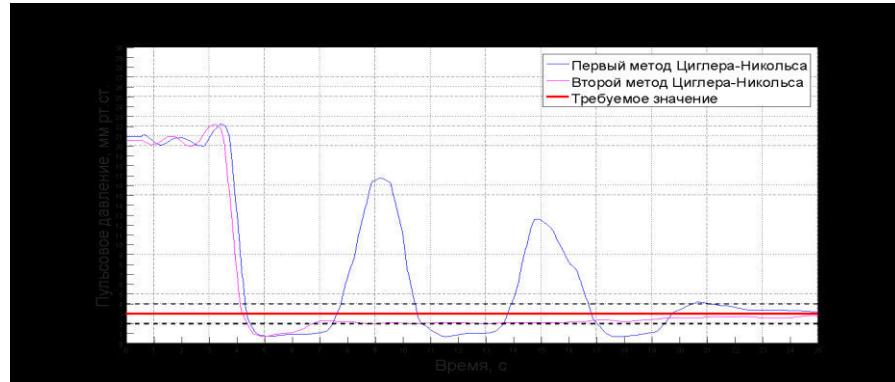


Рисунок 1. Переходные характеристики на выходе системы с П-регулятором

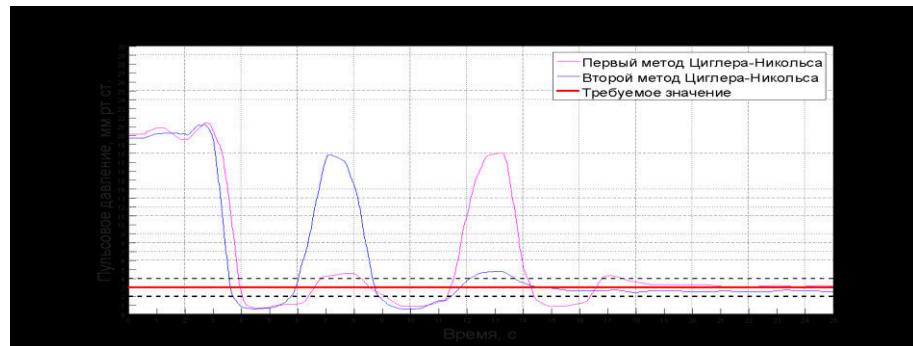


Рисунок 2. Переходные характеристики на выходе системы с ПИ-регулятором

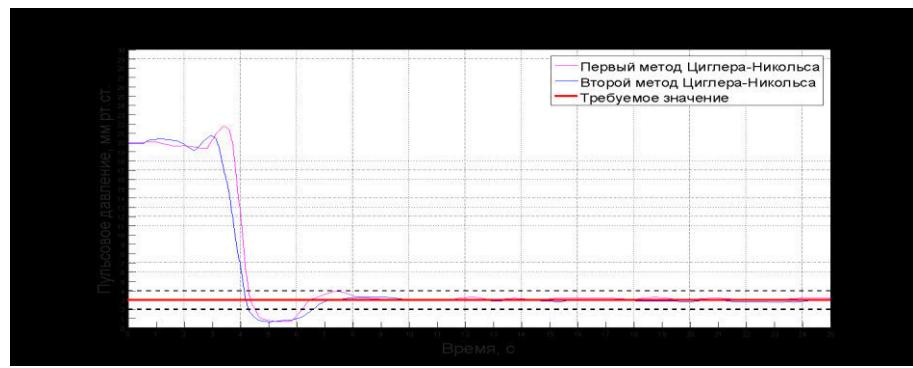


Рисунок 3. Переходные характеристики на выходе системы с ПИД-регулятором

Сравнительная таблица регуляторов (таблица 1) по двум показателям качества переходного процесса: времени регулирования и точности. Наилучшие показатели обеспечил ПИД-регулятор, настроенный по первому методу Циглера-Никольса.

Таблица 1. Сравнительная таблица регуляторов

Тип регулятора	Метод настройки параметров	Время регулирования, с	Установившаяся ошибка, мм рт.ст.
П-регулятор	По ступенчатому воздействию	19,25	0,2
П-регулятор	По частотным характеристикам	6,8	0,2
ПИ-регулятор	По ступенчатому воздействию	11,5	0,5
ПИ-регулятор	По частотным характеристикам	16,4	0,1
ПИД-регулятор	По ступенчатому воздействию	6,1	0
ПИД-регулятор	По частотным характеристикам	6,6	0,2

Выводы: В результате проделанной работы были исследованы П, ПИ и ПИД-регуляторы, подобраны их оптимальные значения параметров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Рева В.А. Эндоваскулярная баллонная окклюзия аорты: применение на стационарном и догоспитальном этапах скорой медицинской помощи [Текст] / В.А. Рева, Е.А. Семёнов, А.Н. Петров, И.М. Самохвалов // Скорая медицинская помощь. - СПб, 2016. – т.17 № 3 - С. 30 - 38.
2. Вадутов О.С. Настройка типовых регуляторов по методу Циглера-Никольса [Текст]: методические указания к выполнению лабораторной работы / Вадутов О.С. – Томск: ТПУ, 2014. 10 с.
3. Карпов В.Э. ПИД-управление в нестрогом изложении [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://robofob.ru/materials/articles/pages/Karpov_mobline1.pdf – (Дата обращения: 21.09.2019)
4. ПИД-регуляторы: Расчет параметров [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://bookasutp.ru/Chapter5_5.aspx – (Дата обращения: 03.06.2019)

УДК 67.05

И.В. Ильиных, А.Н. Волков, Р.Р. Валиев, П.С. Шиянов, Д.С. Штрекер
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЗАМЕНА ЦИКЛОВОГО ПРИВОДА НА ПОЗИЦИОННЫЙ В МАГАЗИНЕ ИНСТРУМЕНТОВ ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕНТРА

Инструментальный магазин предназначен для создания запаса режущих инструментов, необходимого для изготовления на данном станке заданной номенклатуры деталей. На многоцелевых станках с ЧПУ применяют дисковые, барабанные и цепные инструментальные магазины вместимостью 10-140 инструментов. При малом числе инструментов (до 16 шт.) могут применяться револьверные головки. Быстродействие и ёмкость магазина инструментов оказывается на работе всего обрабатывающего центра: медленная смена инструмента и недостаточная ёмкость увеличивают вспомогательное время [1].

В работе будет разработана и исследована математическая модель цепного магазина инструментов станка МС-1000. В этой модели будет вычислена пиковая мощность

циклового и позиционного привода, определена затрачиваемая энергия при перемещении из среднего положения и наиболее отдалённого от позиции смены инструмента. В ходе работы будет повышена производительность магазина инструментов: цикловой привод будет заменен на позиционный. При этом остальные конструктивные элементы останутся неизменными.

В работе рассматривался только трапециoidalный закон движения, в котором длительность равномерного движения составляла одну треть от полного времени. Скорость и ускорение для трапециoidalного закона описывается системой:

$$w(T_0, \tau, w_m, t) = \begin{cases} w_m \text{ при } 0 \leq t < \tau \\ 0 \text{ при } \tau \leq t < T_0 - \tau \\ -w_m \text{ при } T_0 - \tau \leq t \leq T_0 \end{cases}$$

$$V(T_0, \tau, w_m, t) = \begin{cases} w_m t \text{ при } 0 \leq t < \tau \\ w_m \tau \text{ при } \tau \leq t < T_0 - \tau \\ w_m (T_0 - \tau) \text{ при } T_0 - \tau \leq t \leq T_0 \end{cases}$$

где T_0 – длительность цикла, τ – длительность равномерного движения, w_m – максимальное ускорение.

Для определения пиковой мощности потребуется определить инерциальную нагрузку и потери на трение.

$$N(L, T_0, \tau, n, m, t) = N_{\text{инерц_вр}}(L, T_0, \tau, n, J, t) + N_{\text{инерц_лин}}(L, T_0, \tau, n, m, t) + N_{\text{тр}}$$

где $N_{\text{инерц_вр}}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление инерции вращающихся деталей, $N_{\text{инерц_лин}}$ - мощность, затрачиваемая на преодоление инерции поступательно движущихся деталей, $N_{\text{тр}}$ - потери на трение.

Схема приложения сил показана на рисунке 1.

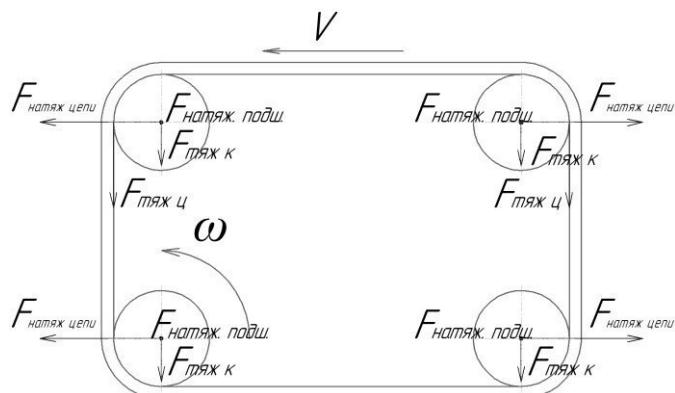


Рисунок 1. Схема приложения сил к подшипниковым опорам

Расчёт потерь в подшипниках проводился из условия, что цепь натянута и не провисает, конструкция магазина инструментов соответствует конструкции прототипа. Методика расчёта описана в источнике [2].

На рисунке 2 показано сравнение пиковых мощностей циклового привода (сплошная линия) и позиционного привода (пунктирная линия), позиционный привод всегда энергетически выгодней, чем цикловой привод. С ростом ёмкости эта разница нарастает.

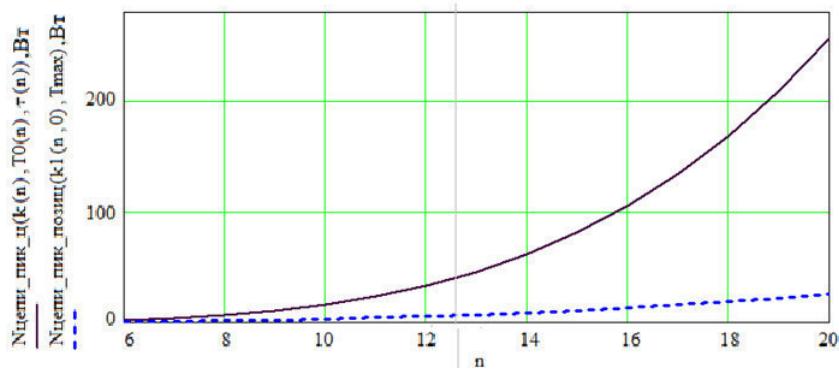


Рисунок 2. Зависимость пиковой мощности циклового и позиционного привода

Для сравнения быстродействия построим графики зависимости пиковой мощности циклового и позиционного привода от времени построим график. Сравнение будет произведено при ёмкостях $n = 8$ и $n_2 = 10$.

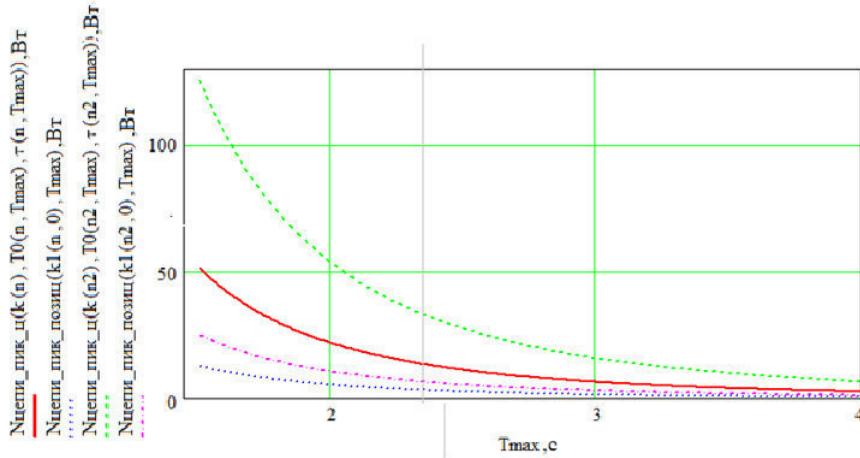


Рисунок 3. Сравнение пиковой мощности циклового и позиционного привода при различном быстродействии

На рисунке 3 видно, что позиционный привод потребляет меньше энергии, чем цикловый при той же производительности.

Дальнейшие расчёты проводились исходя из параметров магазина инструментов станка МС-1000 [3]. Главным преимуществом позиционного привода является программное управление, это позволяет задавать новые режимы работы. Для привода были рассмотрены два режима работы: перемещение из любой позиции происходит за одинаковое время, перемещение из любой позиции производится с максимально возможным ускорением. У позиционного привода с фиксированным временем цикла длительность перемещения из любого положения равно заданному, а именно 3 с, поэтому и среднее время перемещения будет равно 3 с. При ёмкости равной 52- среднее время равно 1,276 с.

Теперь сравним между собой эти случаи в зависимости от ёмкости.

Из рисунка 4 видно, что среднее время у позиционного привода с фиксированным ускорением зависит от ёмкости и с её увеличением среднее время стремится к асимптоте при $n \rightarrow \infty, t_{\text{ср_п2}} \rightarrow 1,29$. Позиционный привод может обладать большим быстродействием, чем цикловый при определённых программно заданных режимах работы.

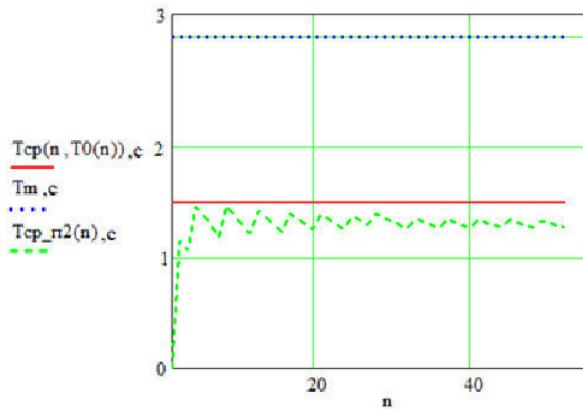


Рисунок 4. Зависимость среднего времени от емкости в различных случаях

Цикловый привод обладает большим энергопотреблением, чем позиционный, при этом рост расхода энергии нелинейный. Если при малой ёмкости разница не столь велика, то при ёмкости в 52 позиции пиковая мощность и работа отличаются более чем в десять раз. Это связано с законом движения рабочего органа у циклового привода. Позиционный привод потребляет меньшую мощность и совершает меньшую работу, чем цикловый. Однако, для повышения производительности потребуется программно установить такой режим. Цикловой привод имеет смысл применять при малой (меньше 12) ёмкости магазина, в таком случае повышенное потребление энергии компенсируется простотой устройства. Когда же требуется точно задать закон движения, иметь повышенную производительность при приемлемом энергопотреблении, следует отдать предпочтение позиционному приводу.

ЛИТЕРАТУРА:

- Проников А.С., Борисов Е.И., Бушуев В.В., Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник в трёх томах том 2, часть 2: Расчёт и конструирование узлов и элементов станков.; Изд-во “МГТУ им Н.Э. Баумана”, 1995 г. – 318 с.
- Решетов Д.Н., Детали машин: учебник 4-е издание, переработанное и дополненное; Изд-во “Машиностроение”, 1989 г. – 498 с
- Балтийская промышленная компания, спецификация станка МС-1000 [Электронный ресурс]. – Доступ к электронному ресурсу: <http://bpk-spb.ru>. – (Дата обращения 10.2.2019)

УДК 628.316.6.094.3

М.В. Брунман, А.П. Петкова, Г.А. Уткин, А.А. Куанышова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МОБИЛЬНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ПО ПРОИЗВОДСТВУ ФЕРРАТА НАТРИЯ

Введение: Вода – доступная и чистая - важнейший ресурс для поддержания жизни на Земле. Задачи, связанные с очисткой воды, в данный момент обладают важнейшим приоритетом для учёных и экологов всего мира. Статья посвящена разработке мобильной установки по очистке воды посредством феррата натрия (Na_2FeO_4), получаемого методом мембранных электролиза. Na_2FeO_4 – мощный окислитель, способный разлагать широкий спектр веществ и соединений [1-2], что позволяет использовать его для очистки и обеззараживания ливневых, бытовых и токсичных сточных вод [3]. Вредные вещества,

вступая в реакцию с ферратом, выпадают в нетоксичный осадок, который легко удаляется с водного объекта.

Цели работы:

1. Проанализировать существующие технологии и оборудование для производства феррата методом электролиза;
2. Произвести выбор материала и конструкции мобильного ферратора;
3. Экспериментально исследовать производительность ферратора и его энергозатраты на различных режимах работы.

Анализ методов производства феррата:

В результате анализа методов производства феррата предпочтение отдаётся производству электрохимическим методом [4-5]. При данном подходе используется относительно несложное оборудование, а затраты - энергетические и временные – меньше по сравнению с другими методами. Более того, для данной задачи электролитический метод получения феррата подходит ещё и потому, что феррат может быть сразу использован без дальнейшей очистки или стабилизации.

Как наиболее производительный и экономичный метод для получения ферратов, выбран мембранный электролиз с катионообменной мембраной. Метод обеспечивает большую единичную мощность установки и позволяет регулировать энергопотребление процесса электролиза в зависимости от требуемой производительности.

Анализ существующих конструкций мембранных электролизёров:

В разрабатываемой установке основным элементом для производства Na_2FeO_4 является электролитическая камера. Выбор конструкции электролизёра определяет технологию производства и задаёт режимы работы всей установки. По электрическому соединению электролизёры разделяются на моно- и биполярные: в монополярных электрический ток подводится непосредственно к аноду и катоду каждой ячейки, а в биполярных – только к крайнему аноду и катоду;

Монополярные электролизёры характеризуются высокой токовой нагрузкой (сотни кА) и низким напряжением (до 4 В), биполярные – токовой нагрузкой 10 – 20 кА и напряжением несколько сотен В.

Для электролизера с расходуемым анодом более безопасной и простой является монополярная конструкция со сменными анодами.

В качестве прототипа была выбрана запатентованная конструкция - KR20130112217. Одна анодная (1) и две катодных камеры (2), разделенных катионообменными мембранами (3), позволяют получать более высокую концентрацию феррата в растворе. Удвоенный размер катодной камеры равен размеру анодной. На рисунке 1 приведено изображение прототипа из патента (рисунок 1, а), а также 3-D модель электролизёра, адаптированного под требуемую задачу на стадии эскизного проекта (рисунок 1, б).

Описание конструкции прототипа:

Две анодные пластины, расположены на расстоянии 5-8 мм от катодных пластин. Расстояние между катионообменной мембраной и катодной пластиной оставляет 5-10 мм. Размеры анодной камеры 50x50x100 мм, катодных камер – 25x50x100 мм. Размеры электродов – 75x40 мм. Вход для подачи электролита выполнен в нижней части камер, вывод произведенного водного раствора феррата и щелочи располагаются в верхней части анодной камеры. Конструкция включает в себя систему рециркуляции электролита.

Параметры процесса производства феррата:

Исходными материалами для производства Na_2FeO_4 являются гидроксид натрия (NaOH) и стальной расходуемый анод. Концентрация NaOH – 6М ($\approx 20\%$). Перемешивание реагента в ходе процесса обеспечивается интенсивной рециркуляция анолита. При объеме анодной камеры 250 мл расход NaOH - $8 \frac{\text{мл}}{\text{мин}}$; Производительность установки – $0,5 \frac{\text{л}}{\text{ч}}$.

Плотность тока на аноде - $350 \div 500 \frac{A}{M^2}$. Напряжениепитания от 2,5 В до 3,5 В. Температура электролита - 20-30°C. Примерное время электролиза - 1 час, после чего для продолжения процесса требуется замена электрода. Материал катодов – коррозионно-стойкая сталь типа 08X18H10T или никель, материал анода – электротехническая сталь с повышенным содержанием кремния.

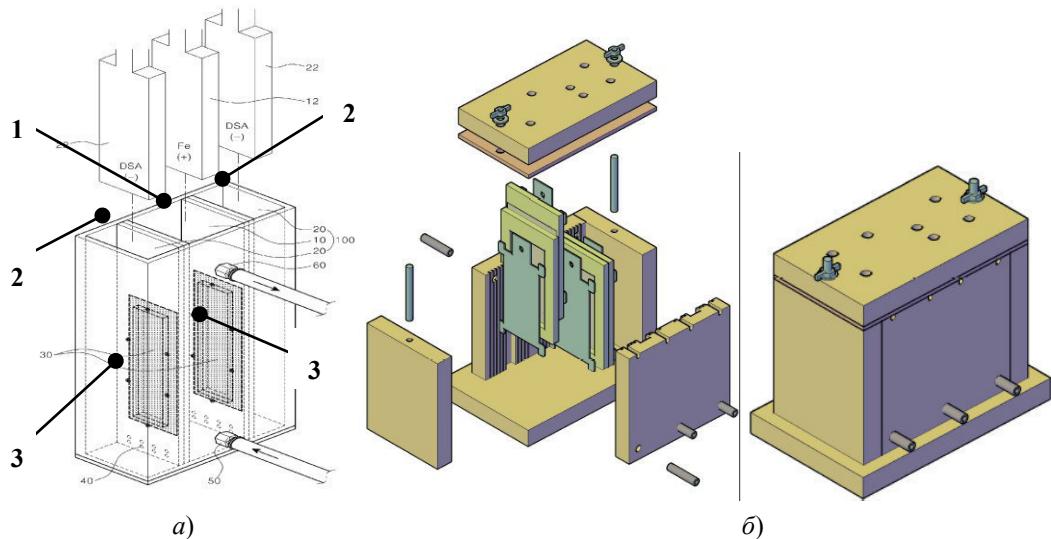


Рисунок 1. Прототип электролизёра
а) Эскиз патентного прототипа; б) 3-D модель прототипа

В результате работы создан макет для отработки режимов электролиза и методики контроля концентрации феррата натрия потенциометрическим титрованием. Фотография макета представлена на рисунке 2:



Рисунок 2. Фотография сконструированного макета электролизёра

Автоматика и управление:

Для использования ферратора в качестве автоматической системы необходимо снабдить его набором датчиков и системой управления. Датчики используются для контроля ряда параметров процесса электролиза: температуры, давления отводимых газов, напряжения, расхода и др. Система управления позволяет адаптивно регулировать текущую производительность и энергопотребление путем изменения токовой нагрузки на электролизере.

Так как устройство является мобильным – важно минимизировать энергопотребление и увеличить эффективность работы. Именно для этого необходимо иметь возможность менять производительность комплекса в зависимости от внешних условий. Параллельно можно подключать несколько электролитических ячеек. Таким образом, можно не только гибко регулировать эффективность работы комплекса, но и подготавливать «запасные» ячейки для оперативной замены электродов или в случае выхода ячейки из строя при аварийной ситуации

Заключение: Предложенные технологии и оборудование позволяют производить феррат на месте применения. Установлены оптимальные параметры технологического режима производства феррата с минимальными энергозатратами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Sharma V.K. Oxidation of inorganic compounds by ferrate (VI) and ferrate (V): One-electron and two-electron transfer steps. Environ. Sci. Technol. 2010; 44 (13): 5148–52.
2. Jiang J.Q. Progress in the Development and Use of Ferrate Salt as An Oxidant and Coagulant for Water and Wastewater Treatment. WaterRes. 2002; 36(6): 1397–408.
3. Экспериментальное обоснование целесообразности обеззараживания и очистки воды и стоков ферратом натрия / Аракчеев Е.Н., Брунман В.Е., Брунман М.В., Коняшин А.В., Дьяченко В.А., Некрасов Р.Э., Петкова А.П./Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 3. С. 216-222.
4. Аракчеев Е.Н., Брунман В.Е., Брунман М.В., Волков А.Н., Дьяченко В.А., Кочетков А.В., Петкова А.П. Современная перспективная технология обеззараживания воды и стоков Гигиена и санитария. 2015; 94(4), с. 25-31.
5. Yang B., Ying G.G., Zhao J.L., Liu S., Zhou L.J., Chen F. Removal of selected endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) during ferrate (VI) treatment of secondary wastewater effluents. WaterRes. 2012; 46 (7): 2194–204.

УДК 62-526

М.А. Головин^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

² ФГБУ ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта Минтруда России

РАЗРАБОТКА МАКЕТА МОДУЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ МЕХАТРОННОГО ИНВАЛИДНОГО КРЕСЛА-КОЛЯСКИ

Введение. В настоящий момент отсутствует научно-обоснованная методика проектирования кресел-колясок с учетом специфики городской инфраструктуры. Существующие способы обеспечения доступности объектов инфраструктуры мегаполиса для лиц с ограниченными возможностями здоровья можно разделить на две группы: адаптация инфраструктуры или повышение мобильности лица с ОВЗ. Повышение мобильности связано с разработкой принципиально новых транспортных средств, максимально расширяющих возможности лиц с ОВЗ.

Цель исследования. Разработка макета модуля стабилизации мехатронного инвалидного кресла-коляски.

Задачи исследования. Проектирование и расчет элементов модуля стабилизации, их последующее изготовление по аддитивному технологическому процессу.

Актуальность. Актуальность проводимого исследования по разработке мехатронной системы заключается в создании уникальной системы шасси. В настоящее время отсутствуют конструкции кресел-колясок, в том числе серийно изготавливаемые и макеты, которые позволяют переместить инвалида по эскалатору – несмотря на высокую степень обеспечения объектов социальной и бытовой городской инфраструктуры подобными

механизмами. Данное перемещение возможно только при вовлечении посторонних лиц и использовании различных ассистивных устройств. К таким устройствам относятся, например, ступенькоходы. Разработка шасси для въезда, движения и съезда с эскалатора значительно расширит возможности оператора инвалидного кресла-коляски. При этом использование модульного принципа проектирования, то есть использование одинаковых модулей обеспечения необходимого (например, вертикального) движения, а также повышение их энергоэффективности, позволит повысить технологичность и эксплуатационные характеристики инвалидного кресла-коляски [1, 2].

Метод исследования. В исследовании применены методы конечно-элементного анализа.

Результаты. Предлагается использовать систему стабилизации на базе четырех модулей. Каждый из модулей обеспечивает вертикальное перемещение. В ходе исследования предложены два варианта компоновки модуля стабилизации с системой уравновешивания на базе нелинейного пружинного аккумулятора с синусной характеристикой [3] (рисунок 1).

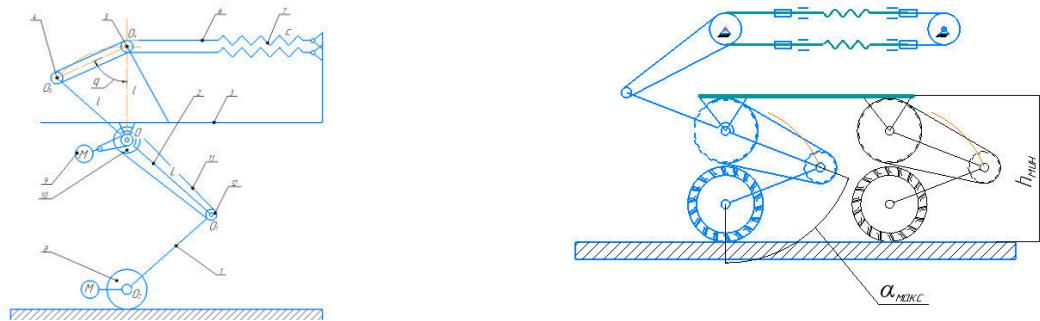


Рисунок 1. Модуль стабилизации с системой уравновешивания и платформа на базе такого модуля

Для выбранной компоновки с цилиндрическими пружинами растяжения были построены электронные геометрические модели деталей, включая шкивы и ремень, с учетом использования унифицированного метрического крепежа, а также проведен прочностной анализ методом конечных элементов для случая изготовления деталей по аддитивному технологическому процессу экструзии материала. В результате анализа были получены оптимальные габариты деталей. Далее, на 3D-принтере, были выращены, в том числе, и детали ременной передачи, включая ремень. Произведена сборка и отладка макета модуля стабилизации (рисунок 2).

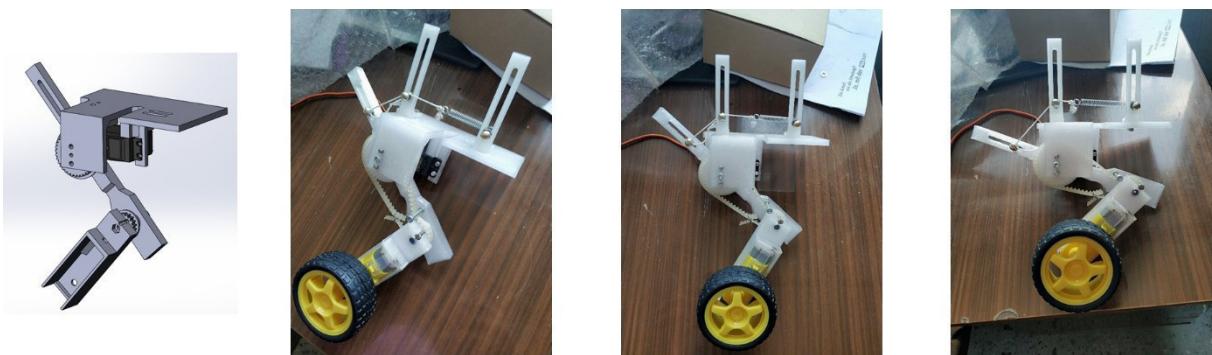


Рисунок 2. CAD-модель и макет модуля стабилизации с системой уравновешивания

Для последующего исследования разработана и собрана система управления проектируемой платформы на базе четырех модулей стабилизации. Был произведен подбор комплектующих (рисунок 3). В качестве основного элемента системы управления выбрана плата ArduinoMega на базе микроконтроллера ATMega.

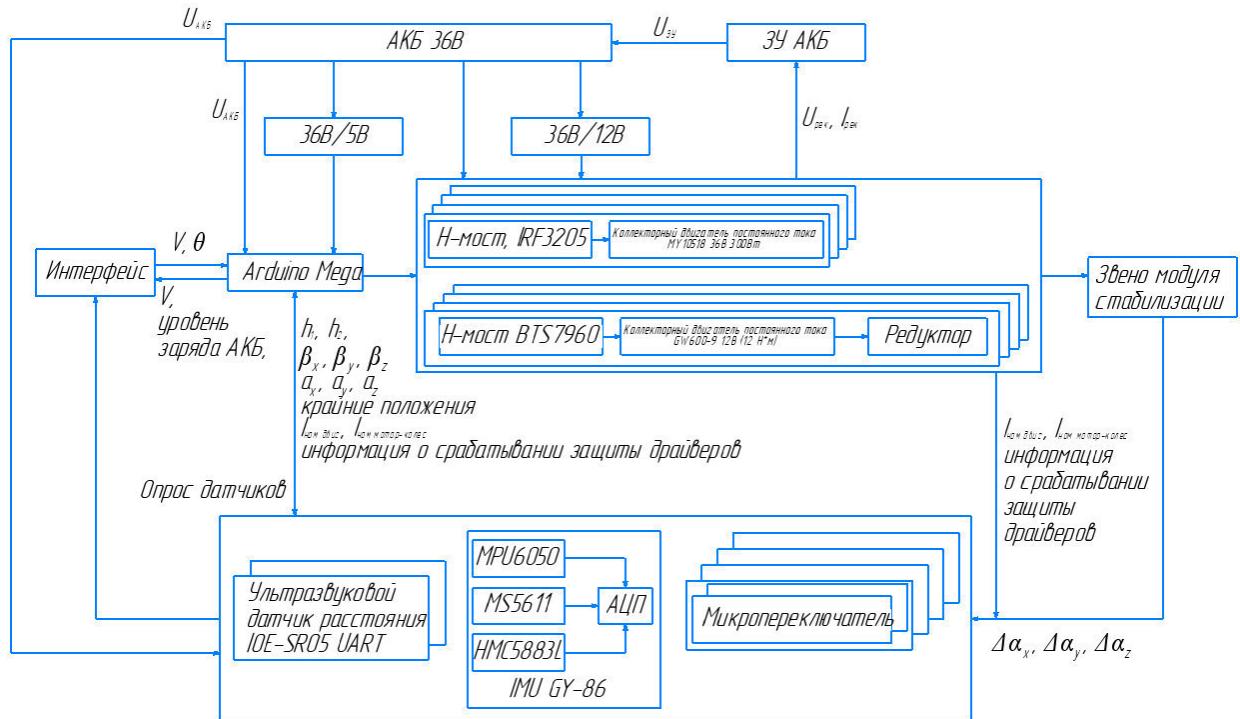


Рисунок 3. Структурно-функциональная схема макета мехатронного инвалидного кресла-коляски

Выход. В результате проведенной работы предложена кинематическая схема и спроектирован модуль стабилизации с системой уравновешивания на базе цилиндрической пружины растяжения. Детали макета спроектированы с учетом анализа методом конечных элементов и изготовлены по аддитивному технологическому процессу экструзии материала. Разработана структурно-функциональная схема для случая использования четырех модулей стабилизации. Представляет научный интерес исследование спроектированной платформы и предложенных конструкций модулей стабилизации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90262.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Манипуляционные системы роботов / А.И. Кореняев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес и др. – М.: Машиностроение, 1989.
2. Справочник конструктора машиностроителя. в 3х томах. Т.3. В.И. Ануьев – М.: Машиностроение, 2001.
3. Мехатронные рекуперативные приводы для цикловых перемещений: учеб. пособие / В.Л. Жавнер, А.М. Абрамов, О.Н. Мацко, М.В. Жавнер. НовГУ им. Ярослава Мудрого – Великий Новгород, 2013.

МАНИПУЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ

Последствия бытовых и производственных травм, автомобильных катастроф и вооруженных конфликтов приводят к появлению значительного количества лиц, потерявших обе или одну кисть. Для их реабилитации на рынке предлагаются разнообразные косметические и рабочие протезы. Данная работа посвящена проблеме развития средств реабилитации именно в сфере производственной деятельности.

Наиболее распространены простейшие протезы в виде механизмов с непосредственным приводом захватывающего устройства через тяги от сохранившихся суставов плеча или корпуса.

Более редкие и сложные протезы оснащены электрическими приводами сведения пальцев и, иногда, ротации и сгиба кисти [1], [2], [3]. Обычно они управляются сигналами от электромиографических датчиков, возникающими при сокращении сохранившихся мышц. Из-за сложности различения электрических потенциалов рядом лежащих мышц, как правило, управление осуществляется только от двух датчиков на основных группах мышц сжатия и разведения кисти. Таким образом осуществляется только хват (зажатие и удержание объекта). Продвинутые протезы управляются процессорами, осуществляющими большее или меньшее количество заранее запрограммированных жестов и хватов. Их стоимость достигает нескольких миллионов рублей. Причем из-за малой долговечности данные затраты на приобретение новых протезов приходится повторять через 2...3 года. Очевидно, подобные расходы непосильны для большинства населения даже относительно богатых стран. А для стран с экономикой, разрушенной военными конфликтами, они вообще запредельны.

В ряде научных центров ведутся работы по управлению протезов от множества электродов, вживленных в нервные окончания. При создании таких протезов необходимо решение ряда проблем, в том числе биологической совместимости, надежности и санитарии. Пока эти работы не выходят за рамки экспериментальных уникальных образцов, а их стоимость не поддается достоверной оценке.

Таким образом, в доступных к покупке образцах решается только задача захвата и удержания относительно корпуса протеза инструментов (или обрабатываемых объектов). А при выполнении производственных операций протез с зажатым инструментом перемещается в пространстве корпусом и уцелевшими крупными суставами плеча и локтя. С учетом психофизических и временных затрат протезируемого точность таких манипуляций многократно, а то и на порядок, уступает возможностям здорового человека. Для производственных операций по обработке, сборке и обслуживанию приборов и прочего малогабаритного оборудования этих возможностей недостаточно.

По сравнению с лицами без кистей производственные манипуляционные операции у здорового человека организованы принципиально иным образом. Разделены фазы предварительного грубого и окончательного точного движения. Вначале кисть с зажатым инструментом подносится в зону выполнения целевой операции, например, завинчивания мелкого винта. Затем основание кисти опирается на близлежащие статические поверхности (стол или иные объекты). Задается требуемая ориентация инструмента. Окончательное малое точное перемещение инструмента осуществляется деформированием напряженной кисти под действием тонкого перераспределения внутренних сил зажима инструмента. В существующих протезах выполняется только одна из функций кисти, а именно удержание

инструмента. А функция точного перемещения отсутствует. Предлагается восполнить этот недостаток.

Предлагается ввести дополнительный манипулятор перемещения рабочего органа протеза относительно неподвижного основания. При сборке или обслуживании мелких приборов такой манипулятор может быть встроен непосредственно в протез (Рисунок 1). А для работы с крупным оборудованием дополнительный манипулятор устанавливается неподвижно на рабочем столе и по мере необходимости оперативно соединяется с протезом. Существующие манипуляторы верхних (и нижних) конечностей в терапевтических целях не приспособлены для выполнения производственных операций [4].

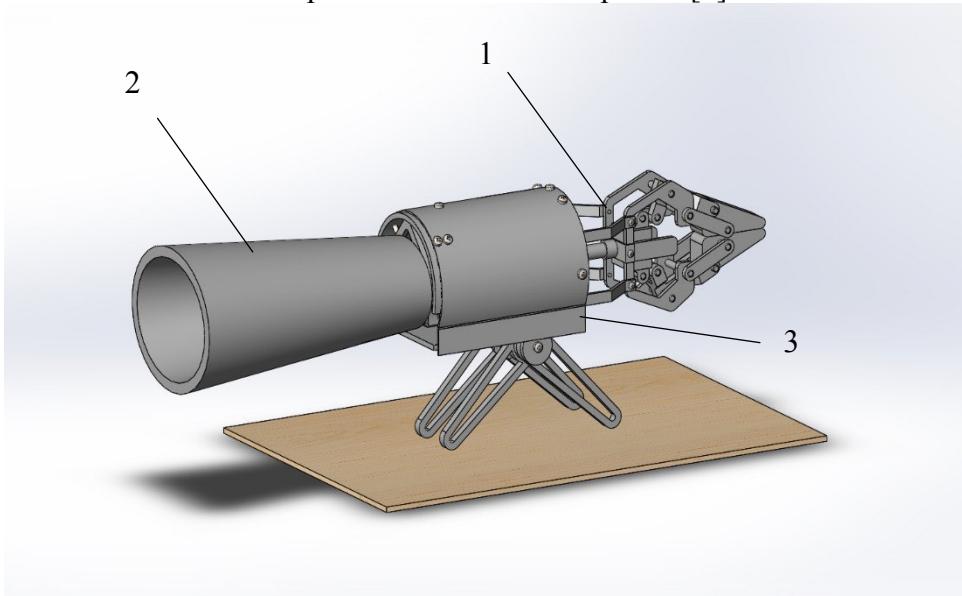


Рисунок 1. Принципиальная схема манипуляционной системы:
1- основной корпус протеза с рабочим органом; 2- гильза приемника культи; 3- дополнительный трехступенчатый манипулятор на адаптивных опорах

Формируется некоторый комплекс средств оснащения рабочего места лиц без кистей. Он включает рабочий стол с дополнительным манипулятором и накопительные магазины со сменными захватными устройствами и инструментом с электроприводом, например: винтовертами, дрелями, шлифовальными, фрезерными машинками, пилами, лобзиками и тому подобными.

Возникает вопрос, как управлять столь многочисленным и разнообразным оборудованием? В принципе протез с дополнительным манипулятором может быть оснащен современной системой управления с электромиографическими датчиками и процессорами с кодированием стандартных режимов работы. Однако данный комплекс не универсален, а ориентирован именно на производственную деятельность. Он отличается, с одной стороны, повышенным количеством каналов управления. А с другой стороны, некритичны помехи окружающему персоналу. Поэтому наиболее целесообразным представляется сочетание голосового управления с управлением от датчиков смещения гильзы приемника культи относительно корпуса протеза. Приводы сменных захватных устройств и инструментов оснащаются унифицированными блоками управления с беспроводной связью с неподвижным центром управления реабилитационным комплексом. Эти мобильные блоки управления через индивидуальные адAPTERЫ воздействуют на штатные средства управления инструмента. Таким образом может быть снижена до приемлемого уровня общая стоимость комплекса оснащения реабилитационного рабочего места.

Предлагаемая манипуляционная система с комплексом оснащения рабочего места открывает перспективу расширения возможностей лиц без кистей на область сложной производственной деятельности. По меньшей мере, они могут заниматься ручным трудом на уровне ведения домашнего хозяйства и увлечений. При полномасштабном внедрении лица без кистей могут интегрироваться в существующие производства либо организовывать индивидуальные предприятия по обслуживанию и ремонту приборов, офисной и бытовой техники, а также кустарным промыслам. Участие в полезной деятельности и экономическое самообеспечение повышает самооценку и улучшает моральное состояние лиц с ограниченными возможностями. Таким образом могут быть получены значительные социальные и гуманитарные эффекты.

ЛИТЕРАТУРА:

1. R.F. Weir. Design of Artificial Arms and Hands for Prosthetic Applications in Standard Handbook of Biomedical Engineering and Design // Chicago, The McGraw-Hill Companies. – 2004. – С. 32.1-32.61.
2. Michelangeloprostheticand [Электронный ресурс] // Ottobock. – Режим доступа: <https://www.ottobockus.com/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/michelangelo-prosthetic-hand/>. – (Дата обращения: 14.09.2019).
3. MyoelectricSpeedhands [Электронный ресурс] // Ottobock. – Режим доступа: <https://www.ottobockus.com/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/myoelectric-devices-speedhands>. – (Дата обращения: 14.09.2019).
4. B. Phillips, G. Zingalis, S. Ritter и K. Mehta. A Review of Current Upper-Limb Prostheses for Resource Constrained Settings // – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7343954> . – (Дата обращения: 14.09.2019).

УДК 616-78

И.Д. Антонов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ РАНЕНЫХ НА ЭТАПЕ ЭВАКУАЦИИ

Введение. Зачастую, военнослужащим, имеющим ранения различной степени тяжести или находящимся в критическом состоянии, медицинская помощь необходима уже на этапе эвакуации с поля боя до мест оказания им врачебной помощи. В процессе эвакуации необходимо постоянно мониторировать жизненно важные показатели, осуществлять диагностику состояний и поддерживать жизнеспособность раненого.

В условиях дефицита сопровождающего медицинского персонала в процессе эвакуации, данный вид манипуляций требует создания автоматизированных и роботизированных систем диагностики и поддержания жизнеспособности раненых. С этой целью, в мире предложены идеи по осуществлению задачи поддержания жизнеспособности раненого на этапе эвакуации.

Однако, в случае подозрения пациента на заражение особо опасными инфекциями или наличия у пациента термических или химических ожогов, системы поддержания жизнедеятельности не способны содержать пациента в необходимой для него изоляции от окружающей среды.

Цель работы. Цель работы состоит в исследовании технических решений по созданию изолирующих медицинских систем для эвакуации раненых, инфекционных больных, пораженных биопатогенами и ожогами, а также выявлении подходов к проектированию

таких систем и перспектив их улучшения.

Согласно исследованию, на сегодняшний день не существует медицинских систем, которые объединяли бы в себе систему поддержания жизнеспособности раненого и изолирующую систему для изоляции потенциально зараженного инфекциями или пораженного ожогами пациента. Также, в ряде случаев, сам пациент нуждается в изоляции от агрессивной окружающей среды, например, если у пациента отмечается снижение иммунитета.

Подобная система может служить при различных чрезвычайных ситуациях техногенного и природного характера как в военное, так и в мирное время. Одним из наиболее вероятных сценариев использования объединенной системы является сценарий защиты пациента с термическими или химическими ожогами, с ослабленным иммунитетом от неблагоприятных факторов внешней среды. В военное время система может быть использована при применении противником химического или биологического оружия. Поэтому, это направление улучшения систем эвакуации раненых является перспективным.

Изолирующая медицинская система составляется из двух основных частей: изолирующего модуля и медицинского модуля.

Рассмотрим первый компонент. На сегодняшний день, для изоляции от окружающей среды больных с подозрением на заражение особо опасными инфекциями, различными биопатогенами и токсичными химическими веществами, при транспортировке используются переносные изоляторы. Эти медицинские изделия представляют собой изолирующий тент, который снабжен камерными перчатками и портами для них для операций внутри изолятора, системами крепления пациента в изоляторе, а также самого изолятора к носилкам, портами для подключения различных внешних устройств, передаточным шлюзом, фильтровентиляционной системой, системами управления и энергообеспечения [1]. Данный переносной изолятор предлагается в качестве изолирующего модуля.

В качестве медицинского модуля предложено использовать набор из различных медицинских аппаратов для поддержания жизнеспособности:

1. блок мониторинга пациента;
2. блок ИВЛ (искусственной вентиляции легких);
3. блок инфузионной терапии, баллон с кислородом 2 л;
4. переносной планшет для сбора данных.

Набор данных медицинских аппаратов сформирован на основе анализа Российских и зарубежных разработок в области создания платформ медицинской эвакуации, таких как система LSTAT (Lifesupportfortraumaandtransport) и система УМЭТР (устройство для медицинской эвакуации тяжелораненых и тяжелопораженных) [2, 3].

По результатам исследований, сформулировано два подхода к проектированию систем, объединяющих в себе изолирующий модуль и медицинский модуль:

- 1) медицинский модуль следует расположить внутри изоляционного модуля;
- 2) медицинский модуль следует расположить снаружи изоляционного модуля.

У обоих подходов имеются свои преимущества и недостатки. Рассмотрим некоторые из них.

Главное преимущество подхода, при котором медицинский модуль находится внутри изоляционного – более простой процесс дезинфекции. При таком подходе нет необходимости предусматривать защиту медицинского модуля от едких дезинфицирующих веществ, так как он находится внутри изоляционного модуля, который является стойким к подобным веществам [1].

Главный недостаток подхода – недоступность медицинского модуля. В случае выхода из строя блоков модуля и необходимости их замены, необходимо нарушать целостность системы, что может быть опасно для окружающих.

Поэтому, с точки зрения практики и опыта медицинских служб, лучшим подходом является размещение медицинского модуля снаружи изолирующего [4].

У такого размещения, в отличие от внутреннего, более простой доступ к медицинскому оборудованию, его проще обслуживать. Медицинские блоки возможно снимать и ставить другие, в зависимости от специфики ситуации использования системы. А снятые с системы блоки, например инфузационной помпы, можно использовать для помощи другим пациентам, вне изоляционного модуля.

Из недостатков внешнего размещения можно выделить затрудненность дезинфекции медицинского модуля. Он должен быть сделан из стойких к дезинфекции материалов. Также с применением внешнего размещения увеличивается масса изделия, так как необходима рама для закрепления медицинских блоков.

Таким образом, принимая во внимание все преимущества и недостатки обоих расположений медицинского модуля, для проектного облика системы было выбрано его внешнее размещение. Для реализации этого подхода предложено разработать металлическую раму для закрепления ее на переносном изоляторе, на которой будут крепиться вышеупомянутые медицинские аппараты.

Таким образом, изолирующая медицинская система предназначена:

1) для транспортировки раненых и поражённых с ожогами, инфекционных больных и пораженных или пациентов, подвергшихся поражению микробиологическими веществами из зараженных территорий в стационарное медицинское учреждение;

2) мониторинга и поддержания жизненно важных функций пациента в критическом состоянии;

3) для обеспечения выполнения манипуляций с пациентом во время эвакуации;

4) для защиты больных и поражённых от воздействия неблагоприятных климатических факторов окружающей среды.

Выводы. Современные системы медицинской эвакуации имеют тенденции к активному развитию, в том числе в области изоляции пациента от окружающей среды.

Объем знаний в медицине на сегодняшний день огромен и, зачастую, даже опытным врачам бывает сложно накапливать, систематизировать и применять полученные знания. Поэтому медицинские информационные системы также получают сегодня активное развитие и применение. В настоящее время можем говорить о тенденции к развитию, в первую очередь, систем поддержки принятия решений в медицине или экспертных систем. Ее задачи будут состоять в проведении анализа на основе определённых исходных данных, поиске решений различными методами и помочь в принятии решения медицинскому работнику о назначении пациенту лечения [5]. За счет модульности систем медицинской эвакуации, экспертная система может быть в неё интегрирована.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Транспортировочный изолирующий бокс. [Электронный ресурс] URL: http://www.lamsystems.ru/katalog/izoliruyuschie_sistemyi/transportirovchnyiy_izoliruyuschiy_boks_izo06 (дата обращения: 27.09.2019).
2. Life Support for Trauma and Transport (LSTAT). [Электронный ресурс] URL: <https://www.researchgate.net/publication/265934461> (дата обращения: 29.09.2019).
3. Система УМЭТР. [Электронный ресурс] URL: <http://vysota.aero/catalog/63/261/> (дата обращения: 29.09.2019).
4. МУ 3.4.2552-09 Организация и проведение первичных противоэпидемических мероприятий в случаях выявления больного (трупа), подозрительного на заболевания инфекционными болезнями, вызывающими чрезвычайные ситуации в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.
5. Экспертные системы, основные понятия. [Электронный ресурс] URL: <https://www.kv.by/content/325186> (дата обращения: 30.09.2019).

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХМАЛЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА МАЛОМОЩНОЙ ПЛАТФОРМЕ В ЗАДАЧЕ ВИДЕОАНАЛИТИКИ

Введение. Современные методы искусственного интеллекта, такие как глубокие нейронные сети широко применяются в различных областях человеческой деятельности. Такие технологии позволяют выявлять сложные экономические зависимости, улучшать качество медицинских снимков, создавать системы технического зрения для мобильных роботов и автоматизации производств. Актуальной также является задача анализа видеопотока со стационарной камеры с целью охраны некоторого периметра. Такого рода задачи традиционно основываются на обнаружении движения на базе модели фона и переднего плана [1]. Такой подход позволяет эффективно обнаруживать и сопровождать движущиеся объекты, но не позволяет обеспечить их классификацию. Для решения задачи классификации применяют как традиционные методы, основанные на анализе метрик движения обнаруженных объектов, так и методы машинного обучения, в том числе глубокие нейронные сети [2]. Поскольку в задачах видеоаналитики обычно требуется обрабатывать информацию с множества камер, то особый интерес вызывает применение именно сверхмалых нейронных сетей для решения задачи классификации с целью экономии вычислительных ресурсов.

Основные направления развития ресурсоемких решений на базе глубоких нейронных сетей можно принципиально разбить два: создание нейросетевых архитектур с малым количеством параметров, обеспечивающих заданную точность и применение методов сжатия нейронных сетей.

Имея малое число параметров, нейронная сеть занимает меньше памяти и имеет высокое быстродействие, применение прогрессивных архитектур, таких как SqueezeNet [3] или MobileNets [4], позволяет таким моделям достигать такой же точности, как эталонные нейронные сети значительного размера, продемонстрировавшие максимальные показатели точности.

Под методами сжатия понимаются различные алгоритмы изменяющие структуру или представление нескольких или всех слоев обученной нейронной сети с целью сокращения их размера и уменьшения вычислительной сложности, при заданном ограничении на снижение точности [5].

В данной работе рассматриваются особенности архитектур нейронных сетей с малым числом параметров, и проводится исследование их применимости на маломощных платформах в задаче видеоаналитики.

Цель работы: разработка системы технического зрения для решения задачи видеоаналитики на базе глубокой нейронной сети пригодной для использования на маломощных платформах по критериям точности и быстродействия.

Особенности архитектур нейросетей с малым числом параметров. SqueezeNet и MobileNets – высокопроизводительные архитектуры нейронных сетей, которые при своем малом размере показывают высокую точность работы. Для обеспечения высокой обобщающей способности используются специальные микроархитектурные решения, позволяющие максимально емко выявлять признаки.

Архитектура нейросети MobileNets основана на использовании поканально разделимых сверток, которые являются формой разложения обычного сверточного слоя на поканальную свертку и свертку 1×1 или точечную свертку (pointwiseconvolution). Поканальная свертка применяет один фильтр на каждый канал изображения. Затем применяется свертка 1×1 , для того чтобы объединить выходные тензоры поканальных сверток. Обычная свертка одновременно фильтрует и объединяет входы в новый выход, в поканально разделимом сверточном слое эти операции выполняются раздельно. Такое разложение показало значительное снижение размера и вычислительной сложности модели. На рисунке 1, а приведена визуализация разложения сверточного слоя на два.

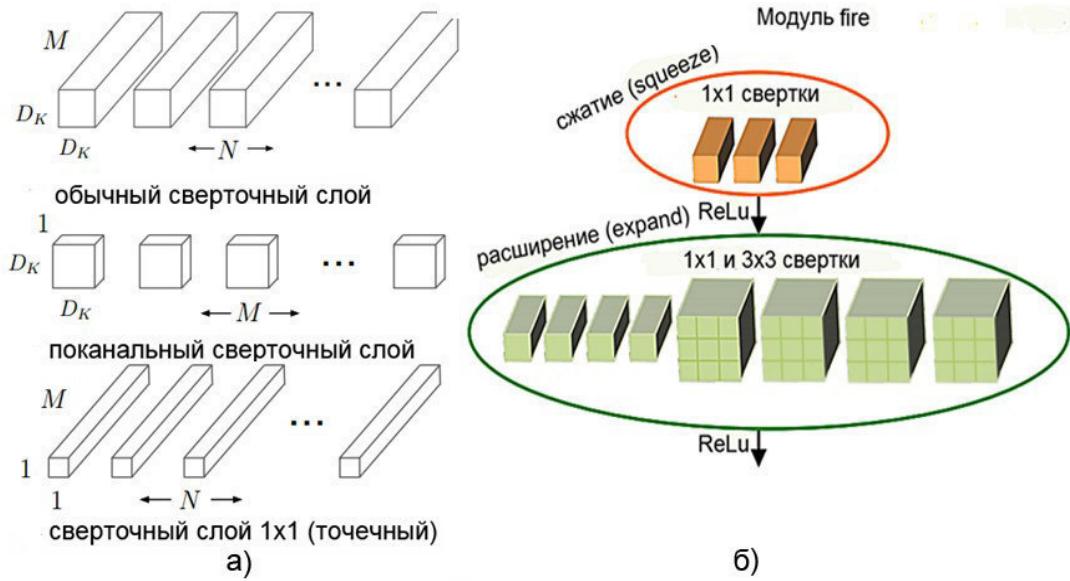


Рисунок 1. Микроархитектурные решения нейронных сетей:
а) поканально разделимый сврточный слой; б) модуль «fire»

Основным элементом архитектуры SqueezeNet является предложенный модуль «fire» (огонь) являющийся комбинацией нескольких слоев. Данный модуль состоит из двух этапов: сжатия (squeeze) и расширения (expand) (рисунок 1, б), этап сжатия состоит из свртоек 1×1 , которые ограничивают количество каналов входящих на следующий слой, содержащий свртоки 3×3 , уменьшая число параметров. Блок «расширение» содержит комбинацию свртоек 1×1 и 3×3 вычисляемых параллельно. Рассмотренный модуль активно использует свртоки размером 1×1 , что позволяет эффективно выявлять зависимости между каналами карт признаков, используя минимальное число параметров.

Экспериментальное исследование. Основными параметрами для оценки применимости нейронной сети в рамках поставленной задачи являются точность и быстродействие. Точность определяется в процессе тестирования обученной модели на контрольном наборе данных, содержащем примеры реальных данных, на которых нейросеть не была обучена. Быстродействие зависит от аппаратно-программного комплекса, с помощью которого реализован алгоритм. Высоким быстродействием обладают графические процессоры (GPU), однако они обладают высоким энергопотреблением и значительно дороже центральных процессоров (CPU). Маломощные платформы часто ограничены лишь вычислениями на центральном процессоре, в связи с этим для тестирования быстродействия было решено использовать процессор AMDA10 9600p (2.4 ГГц, 4 ядра).

Оценка применимости нейронных сетей в задаче видеоаналитики произведена путем сравнения различных параметров ряда нейронных сетей, в том числе качества работы после обучения на одинаковых наборах данных. Рассмотренные нейросети с малым числом параметров (SqueezeNet, MobileNets) сравниваются с более объемными архитектурами, такими как: VGG16, ResNet50, InceptionV3. Для обучения классификатора людей, машин и фона был составлен датасет содержащий 549 изображения. Материалы были взяты с камер видеонаблюдения или из других источников, имеющих такой же ракурс съемки. Созданный датасет содержит три класса: человек, машина, фон (рисунок 2).



Рисунок 2. Примеры изображений содержащихся в составленном наборе данных

В результате обучения целевые архитектуры MobileNet и SqueezeNet показали высокую точность на контрольном наборе данных: 95% и 85% соответственно. Точность – доля правильно классифицированных изображений среди тестовой выборки, содержащей 166 изображений. Быстродействие - время необходимое для предсказания класса для одного изображения размером 224×224 пикселя. Для нейронной сети Resnet50, имеющей наибольшее число параметров, процесс обучения не сошелся, и на тестовом наборе данных не удалось получить результатов. Подробное сравнение всех обученных архитектур нейронных сетей представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение точности и быстродействия различных нейронных сетей

Архитектура	Точность, %	Быстродействие, с	Размер, МБ	Количество параметров, млн	Количество перенастроенных параметров, млн
SqueezeNet	85	0.05	7	0.7	0.43
MobileNet	95	0.37	23	3.4	1.2
InceptionV3	83	0.53	128	22	4.1
VGG16	90	1.31	95	14	4.7
Resnet50	-	0.89	100	24	3

Выводы. Полученные результаты показывают, что в рамках поставленной задачи рассмотренные архитектуры с малым числом параметров не уступают в точности более крупным нейронным сетям, напротив MobileNet показала самую высокую точность. Однако приоритетным решением стоит считать нейросеть SqueezeNet, так как она, обладая точностью 85%, имеет значительно большее быстродействие и меньший размер.

Публикация подготовлена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках работы над проектом № 075-00924-19-00.

ЛИТЕРАТУРА:

1. VermaG. et al. Implementation of Smart Video Surveillance System Using Motion Detection Technique //Sensors and Image Processing. – Springer, Singapore, 2018. – С. 65-72.
2. Kim C. et al. A hybrid framework combining background subtraction and deep neural networks for rapid person detection //Journal of Big Data. – 2018. – Т. 5. – №. 1. – С. 22.
3. Iandola F.N. et al. SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and< 0.5 MB model size //arXiv preprint arXiv:1602.07360. – 2016.
4. Howard A.G. et al. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications //arXiv preprint arXiv:1704.04861. – 2017.
5. Cheng J. et al. Recent advances in efficient computation of deep convolutional neural networks //Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering. – 2018. – Т. 19. – №. 1. – С. 64-77.

УДК 004.932.72

Н.А. Мальцева¹, Н.С. Филатов^{1,2}, А.В. Бахшиев^{1,2}

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

²Центральный научно-исследовательский институт робототехники
и технической кибернетики

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНТРОЛЯ СОБЛЮДЕНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Введение. Проведение мероприятий по контролю соблюдения техники безопасности (ТБ) является обязательным на любом предприятии. От того, насколько грамотно и эффективно проводится контроль на производстве, зависит и репутация организации, и безопасность работников. Однако даже при систематичном контроле нередко происходят нарушения ТБ работниками предприятия, у работодателей нет возможности следить за ее соблюдением непрерывно, особенно на круглосуточных предприятиях. Одним из эффективных вариантов осуществления контроля ТБ на предприятии является применение систем технического зрения (СТЗ). Такие системы могут работать непрерывно, при этом исключая любые человеческие факторы, такие как: усталость, невнимательность, болезни.

В данной работе рассматриваются алгоритмы распознания изображений с видеокамеры, систематизации и обработки полученных данных [1, 2] и проводятся исследования по созданию СТЗ для решения задачи.

Цель работы: разработка наборов данных для решения задачи по обнаружению касок работников предприятия, проведение экспериментальных исследований по созданию системы, обеспечивающей контроль соблюдения ТБ на производстве, обученной на составленных данных.

Разработка наборов данных для детектирования. Для работы были предоставлены данные в виде видеозаписей с промышленных предприятий, на которых в разных сценах представлены сотрудники предприятий, нарушающие или выполняющие ТБ по ношению касок. Сцены различаются по времени суток, углу обзора, качеству съемки, цвету касок, позиции сотрудников относительно камеры. По этим параметрам сцены были разделены на 4 категории (рисунок 1): дневные горизонтальные сцены с ракурсом на уровне глаз человека; дневные сцены с ракурсом под углом, без сложных изображений (с искажениями, запотевшей камерой и т.д.); дневные сцены с ракурсом сверху, без сложных изображений; ночные, черно-белые и сложные кадры.

Для разметки данных был использован инструмент LabelImg [3], предназначенный для разметки изображений с помощью графического интерфейса. При разметке выделялись 6

классов: person (полностью фигура человека), head (только голова человека), hat (голова и шапка), helmet (голова и каска), helmet_off (снятая каска), hood (надетый капюшон). Из всех сцен были выбраны изображения, подходящие для разметки, и была выполнена разметка 1478 изображений разных сцен.



Рисунок 1. Примеры сцен по категориям

Экспериментальные исследования. Для детектирования объектов была обучена нейросеть SqueezeDet [4] на размеченном наборе данных. Для определения параметров качества работы детектора использовались 3 величины: точность - доля объектов, действительно принадлежащих данному классу, относительно всех классов, которые система отнесла к этому классу; полнота - доля найденных детектором объектов, принадлежащих классу относительно всех объектов этого класса в тестовой выборке; мера - гармоническое среднее между точностью и полнотой.

С целью увеличения качества работы было предложено использовать комбинацию детектора SqueezeDet с дополнительной нейронной сетью для классификации. Разработанный алгоритм приведен на рисунке 2. Он получает на вход список изображений, осуществляется подготовка изображений, детектирование объектов на изображениях при помощи сверточной нейронной сети SqueezeDet. На выходе детектора получается массив из следующих данных: координаты рамки объекта, класс объекта, уверенность. Далее выполняется постфильтрация полученных объектов: если очень близко (меньше 40 пикселей) обнаружены объекты одного и того же класса, то сравниваются их параметры уверенности. Объект, имеющий меньшую уверенность, удаляется. Таким образом, для каждого объекта остается лишь одна рамка с координатами и классом. Массив полученных данных передается далее для определения категории объекта классификатору. По координатам рамки каждый объект вырезается, и классификатор предсказывает класс объекта по вырезанному изображению и присваивает цвет каждой рамке: "helmet" – зеленый, "head" или "hat" – красный, "hood" – оранжевый. Классификатор позволяет уточнить предсказания детектора для ситуаций нарушения ТБ. Далее в зависимости от цвета рамки всем объектам класса "person" присваиваются новые классы, которые и определяют категорию: зеленый цвет – "person_green" – нарушений не обнаружено, красный – "person_red" – обнаружено нарушение, оранжевый – "person_orange" – нарушение невозможно определить. На каждое изображение наносятся рамки соответствующего цвета по их координатам.

Для выбора классификатора было выполнено сравнение двух нейросетей: SqueezeNet [5] и MobileNets [6]. Для оценки работы классификаторов использовалась матрица ошибок (confusionmatrix) – это матрица размера N на N , где N – это количество классов. Столбцы этой матрицы – истинные значения классов объектов, а строки – классы, предсказанные классификатором. Когда объект из тестовой выборки классифицируется, производится инкремент числа, стоящего на пересечении истинного класса и класса, который предсказал классификатор. Соответственно, по диагонали располагаются значения количества верно угаданных классов.



Рисунок 2. Разработанный алгоритм

Нормализованные матрицы ошибок при использовании классификаторов SqueezeNet и MobileNets представлены на рисунке 3. В результате для комбинации с детектором был выбран классификатор MobileNets.

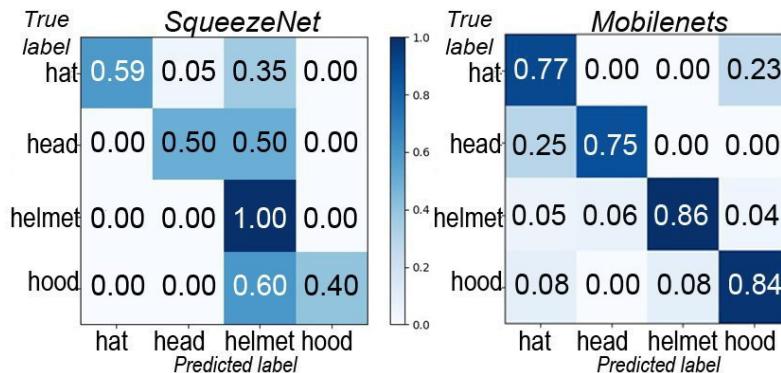


Рисунок 3. Результаты работы нейросети SqueezeNet (слева), MobileNets (справа)

Далее был реализован описанный выше алгоритм и проанализированы его результаты с помощью вычисления усредненных по классам значений параметров точности, полноты и меры. Сравнение результатов представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение параметров качества работы детектора и комбинации детектора и классификатора

	Точность	Полнота	Мера
Детектор	0,55	0,91	0,69
Детектор+классификатор	0,64	0,91	0,75

Результаты: В ходе работы были проведены экспериментальные исследования по созданию системы, обеспечивающей контроль соблюдения ТБ на производстве, обученной на составленных данных. Были проанализированы различные варианты распознавания объектов для имеющихся наборов данных – при помощи детектора, классификатора и их комбинации, проведено их сравнение по параметрам качества работы. Для этого были использованы как имеющиеся алгоритмы и материалы, так и разработаны новые. Итоговым вариантом системы для контроля ТБ на производственной площадке стала комбинация двух нейросетей: детектора SqueezeDet и классификатора MobileNets, которая позволила увеличить точность на 9%. Учитывая, что в данной работе изображения обрабатывались по-

отдельности, в дальнейшем можно улучшить параметры качества путем последовательной обработки кадров видеозаписи. Также планируется исследовать комбинации детектора и классификатора с использованием других архитектур, а также увеличить точность распознавания путем использования информации о расстоянии до объектов сцены.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kang Li, Xiaoguang Zhao, Jiang Bian, Min Tan Automatic Safety Helmet Wearing Detection // arXiv:1802.00264 – 2018
2. Abu H.M. Rubaiyat, Tanjin T. Toma, Masoumeh Kalantari-Khandani Automatic Detection of Helmet Uses for Construction Safety // IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence Workshops – 2016
3. Github.com labelImg [Электронный ресурс]. – <https://github.com/tzutalin/labelImg>
4. Wu B. et al. SqueezeDet: Unified, small, low power fully convolutional neural networks for real-time object detection for autonomous driving //Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. – 2017. – С. 129-137
5. Iandola F.N. et al. SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and < 0.5 MB model size //arXiv preprint arXiv:1602.07360. – 2016
6. Howard A.G. et al. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications //arXiv preprint arXiv:1704.04861. – 2017

УДК 004.932.72

Т.Т. Исаков¹, С.Р. Орлова²

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

²Центральный научно-исследовательский институт робототехники
и технической кибернетики

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОРОЖНОЙ ОБСТАНОВКИ

Введение. Задача сегментации изображений дорожной обстановки часто встречается при разработке мобильных роботов или систем управления автомобилем, поэтому важными характеристиками алгоритма являются не только качество, но и скорость работы, а также, требуемый объем вычислительных ресурсов и памяти. В последние годы наилучшие показатели по качеству сегментации получены с использованием нейросетевых методов. Однако, несмотря на большое количество работ, посвященных разработке нейросетевых методов сегментации, существует ряд проблем, связанных с практическим решением задачи сегментации при разработке СТЗ. Одной из главных проблем является недостаток экспериментальных исследований, сравнивающих показатели работы существующих методов, что послужило бы опорой при выборе наиболее подходящего под задачу метода.

Цель работы. Исследование и реализация алгоритмов сегментации изображений дорожной обстановки.

Современные нейронные сети для сегментации. Современный подход к построению нейросетевых алгоритмов для решения задачи сегментации начал формироваться в 2015 году, когда были предложены нейросетевые архитектуры FCN [1], UNet [2] и DeepLab [3].

Основной блоком, который используется во всех архитектурах, является так называемый блок энкодера, который состоит из нескольких последовательных операций свертки, поникающих размер изображения. Энкодер преобразует входное изображение в карты признаков различного уровня – на начальных слоях выделяются признаки низкого уровня (штрихи, края, пятна), на конечных выделяются признаки высокого уровня (сложные фигуры, части объектов, объекты). Чтобы далее из признаков получить сегментационную

маску, предлагается использовать нейронную сеть-декодер, которая принимает на вход карты признаков от энкодера и повышает их размерность до размера входного изображения с помощью деконволюционных слоев (использующих операцию деконволюции, или развёртки).

Экспериментальное исследование. Поскольку разработка нейронной сети требует большого количества времени, было решено использовать готовые решения. Для экспериментов были выбраны реализации архитектур: U-Net, ENet, PSPNet, ICNet [4], DeepLabv3. Исходные веса моделей были получены на разных наборах данных.

Для сравнения качества работы методов выбранным нейросетевым моделям устанавливались различные входные размеры, то есть, входные изображения и аннотации приводились к этим размерам, после чего полученные предсказания-маски в том же размере сравнивались с аннотациями-масками. Также замерялось время выполнения предсказания непосредственно нейронной сетью. Использовались метрики mIoU и PA (Pixelaccuracy, пиксельная точность).

Основная часть экспериментов проводилась на следующем оборудовании: процессор IntelCore i7-3770 (3.4 ГГц × 8), графическая карта GeForce GTX 1070 (8 Гб), 32 Гб оперативной памяти.

Оценка производилась на базах данных Cityscapes и BerkeleyDeepDrive по 19 классам. Данные наборы данных имеют одинаковый набор классов.

В таблице 1 показаны характеристики работы лучших нейросетевых моделей. В сравнении видно, что модели PSPNet и DeepLab обладают лучшей обобщающей способностью, поскольку для них получены самые высокие значения точности по набору данных, на котором модели никогда не обучались, однако их скорость работы значительно ниже, а размер модели – в разы больше. Однако самая высокая точность на тестовом наборе Cityscapes получена для нейронной сети ICNet (со значительным отрывом), что говорит о высокой обучаемости. ICNet при достаточно высокой точности обладает высокой скоростью работы, а размер её модели позволяет использовать её в условиях ограниченных ресурсов.

Таблица 1. Сравнение лучших моделей – характеристики точности

№	Имя модели	Входной размер	Cityscapes		BerkeleyDeepDrive		Скорость кард/с
			mIoU, %	PA, %	mIoU, %	PA, %	
1	ENet_8	360×640	44.03	65.65	39.05	59.20	34.24
2	PSPNet_1	713x713	76.16	92.58	51.76	81.99	3.48
3	PSPNet_4	713x1426	82.37	95.37	49.42	81.27	1.83
4	PSPNet_6	1024x2048	84.15	95.78	42.53	73.81	0.96
5	DeepLab_2	513x513	69.00	91.45	49.25	73.21	12.67
6	DeepLab_6	512x1024	78.81	93.13	51.19	73.46	6.84
7	DeepLab_8	720x1440	82.68	94.32	49.65	70.59	3.56
8	ICNet_3	780x1560	83.49	95.34	44.12	78.02	25.23
9	ICNet_4	512x1024	72.11	92.29	37.42	74.24	54.88
10	ICNet_BN_1	1025x2049	87.73	96.57	43.24	77.45	15.93
11	ICNet_BN_3	780x1560	83.61	95.39	43.91	77.65	23.87

В таблице 2 представлена точность IoU по классам, полученная на базе Berkeley Deep Drive. Красным цветом выделена точность ниже 0.3, желтым – от 0.3 до 0.5.

Таблица 2. Точность моделей по классам Berkeley Deep Drive

№	Класс	IoU, %			
		PSPNet	DeepLab	ICNet	U-Net
1	road	88.87	86.24	76.39	97.33
2	sidewalk	38.87	41.58	48.78	73.26
3	building	84.8	87.68	83.91	93.71
4	wall	15.24	15.38	14.4	0
5	fence	46.63	50.52	15.49	0
6	pole	26.87	40.12	29.55	0
7	trafficlight	42.17	26.95	34.1	0
8	trafficsign	33.63	44.8	23.63	0
9	vegetation	90.38	87.67	84.84	91.87
10	terrain	34.62	18.23	38.35	48.76
11	sky	77.25	38.35	80.33	96.83
11	person	69.86	65.16	58.26	0
13	rider	60.21	42.59	27.22	0
14	car	95.13	91.85	93.85	95.9
15	truck	24.41	28.14	11.24	0
16	bus	21.82	50.71	24.12	0
17	train	0.23	0	0	0
18	motorcycle	67.1	46.44	32.71	0
19	bicycle	65.41	73.48	42.4	0
20	mIoU	51.76	49.26	43.14	31.45

Можно заметить, что по большинству классов сохраняется определенная тенденция независимо от модели. Классы road, building, car, vegetation, person дают высокую точность для любой модели, тогда как классы wall, truck, train, имеют низкую точность независимо от модели. Здесь большую роль играет разница между набором данных Berkeley Deep Drive и данными, на которых модели были обучены, а также несбалансированность классов по частоте появления (рисунок 1) и количеству занимаемых пикселей.

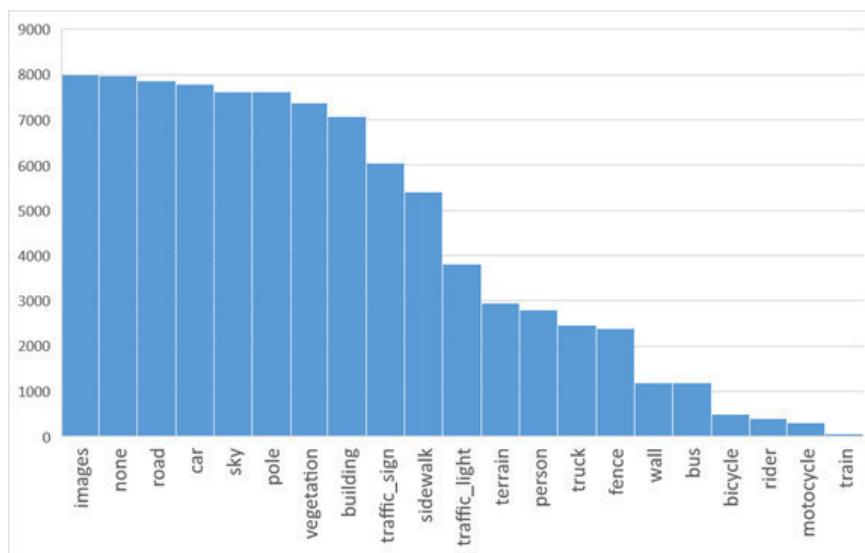


Рисунок 1. Диаграмма частоты появления классов в базе

Очевидно, что такие классы, как дорога, здания, растительность и небо преобладают над другими классами по частоте появления и количеству занимаемых пикселей. Именно эти классы в итоге предсказываются лучше всего. Остальные классы, соответственно, предсказываются хуже.

Выводы. Лучшим балансом скорость-точность обладает архитектура ICNet. В то время как для других архитектур показатели работы являются торговом между быстродействием и качеством сегментации, так что при высокой точности скорость нейронной сети будет низкой и наоборот.

Также можно сделать вывод, что универсального метода для сегментации изображений дорожной обстановки нет. При подборе модели необходимо опираться на условия работы и выполняемые задачи. Для улучшения качества сегментации недостаточно совершенствовать нейросетевые методы. Также большой вклад вносит обучающая база и для качественного решения задач сегментации дорожной обстановки необходимо создание лучше сбалансированных баз данных.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Long J., Shelhamer E., Darrell T. Fully convolutional networks for semantic segmentation //Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2015. – С. 3431 - 3440.
2. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation //International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. – Springer, Cham, 2015. – С. 234 - 241.
3. Chen L. C. et al. Deeplab: Semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected crfs //IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2017. – Т. 40. – №. 4. – С. 834 - 848.
4. Zhao H. et al. Icnet for real-time semantic segmentation on high-resolution images //Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV). – 2018. – С. 405 - 420.

УДК 655.025

Н.С. Феч, И.А. Ильина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОЧНОСТЬ СВАРНОГО ШВА ГИБКОЙ РУЛОННОЙ УПАКОВКИ

Введение. Полимерные пленки, применяемые в качестве запечатываемых материалов при производстве гибкой рулонной упаковки, занимают лидирующие позиции в мире среди упаковочных материалов, поскольку сохраняют высокое качество пищевых продуктов в течение длительного срока, имеют минимальную массу, толщину и стоимость. Преимуществом полимеров также является избирательная проницаемость к газам и парам, а также способность гибко реагировать на различные внешние воздействия (ударные нагрузки, свет, влага). Ввиду того, что получение однородного полимера, отвечающего всем предъявляемым требованиям, на практике невозможно, в последние годы все большее применение находят многослойные полимерные материалы (ламинаты) [1].

Цель исследования. Исследовать влияния механических свойств материалов на прочность сварного шва гибкой рулонной упаковки.

Актуальность. В развитии полиграфического рынка в последнее время все в большей степени отмечается возрастающая роль сегмента этикеточно-упаковочного производства. В этом сегменте полиграфического рынка в 2019 г. продолжается, хотя и небольшой, но последовательный рост выпуска различных видов этикеток, упаковки и тары; происходит

наращивание производственных мощностей, как за счет создания новых производств, так и диверсификации действующих типографий. На российском рынке пластиковой тары и упаковки с 2010 года наблюдается положительная динамика объемов производства. При этом наибольший прирост объемов производства пришелся на 2016 год и составил 26,4% по отношению к 2015 году. Динамика объемов производства пластиковой тары и упаковки в 2010-2019 г.г. представлена на рисунке 1.

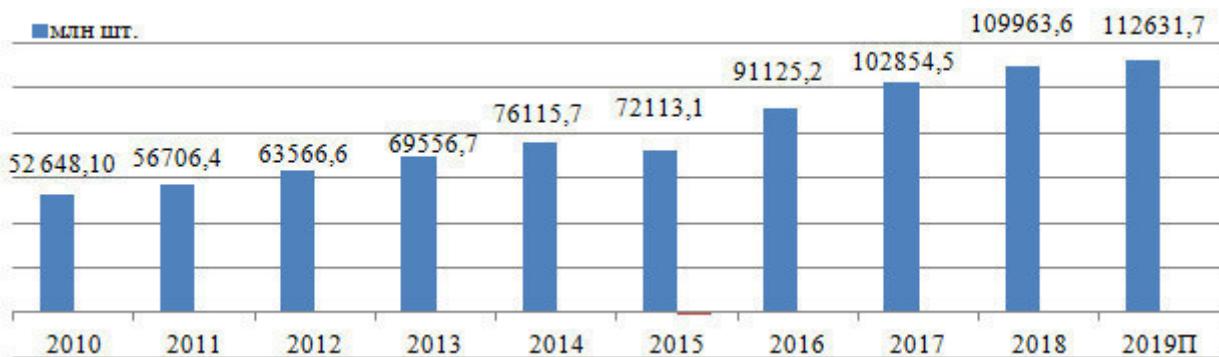


Рисунок 1. Динамика объемов производства пластиковой тары и упаковки в 2010-2019 г.г., млн шт.

По итогам 2018 года объем производства полимерной упаковки составил 110 млрд шт.- это на 108,9% больше по сравнению с данными 2010 года. Ожидается, что по итогам 2019 года рынок не затронут существенные изменения, и производство может несущественно вырасти (на 2,4%) по сравнению с результатами 2018 года и составит 112,6 млрд шт. [2].

Сегодня полиграфические предприятия, чтобы конкурировать с другими типографиями, обязаны обеспечить повышение уровня качества своей продукции. Для этого на протяжении всего технологического процесса должен осуществляться контроль качества: входной контроль поступающих материалов, операционный (контроль процессов) и выходной контроль, осуществляемый при сдаче готовой продукции.

Одной из основных функций упаковки является защитная функция, которая заключается в защите упаковываемого продукта от влияния климатических факторов, от повреждений и порчи при транспортировке и хранении в течение заданного времени в определенных условиях [3]. Для выполнения защитной функции к упаковке предъявляется ряд требований, в том числе требования к прочности сварного шва.

Исследуемые материалы. Для проведения лабораторного испытания были выбраны полимерные пленки, наиболее часто применяемые в качестве композитных материалов на производстве гибкой рулонной упаковки: прозрачный и металлизированный биориентированный полипропилен (BOPP), прозрачный неориентированный полипропилен (CastPP), полиэтилен высокого давления (ПЭВД). В таблице 1 представлены результаты входного контроля исследуемых материалов [4].

По результатам входного контроля, прочность сварного шва для различных материалов значительно отличается: наибольшая прочность сварного шва наблюдается у пленки ПЭВД толщиной 40 мкм (16,779 Н/мм), наименьшая- у прозрачной пленки BOPP толщиной 20 мкм (2,498Н/мм).

Лабораторное оборудование. Универсальная испытательная машина серии S HounsfieldTestEquipment H5KS предназначена для определения механических и физических свойств материалов при растяжении, сжатии, сдвиге, изгибе и других нагрузках.

Термосварочная машина HSE-3 фирмы RDM TestEquipment предназначена для термосваривания материалов и определения наилучших параметров температур $^{\circ}\text{C}$,

времени T и давления P термосваривания различных композитных пленок для промышленного производства.

Таблица 1. Свойства полимерных пленок

Материал	Характеристика			Норма прочности сварного шва, Н/мм	Свойства материала
	Вид	Толщина, мкм	Прочность сварного шва, Н/мм		
BOPP	прозрачн.	20 мкм	2,498	2,3	высокая эластичность и прочность на разрыв, отличные барьерные свойства, высокая химическая устойчивость к неорганическим кислотам и щелочам, норма активации 38 din/cm
	прозрачн.	25 мкм	2,833	2,5	
	металлиз.	20 мкм	2,741	2,3	
CastPP	прозрачн.	30 мкм	14,617	11,5	высокая механическая прочность, повышенная стойкость к кислотам и жирам, способность к термической сварке, норма активации 34-38 din/cm
ПЭВД	прозрачн.	40 мкм	16,779	12	химическая устойчивость, сохранение механических свойств материалов при низких температурах, эластичность, низкая устойчивость на изгиб, газопроницаемость, способность к термической сварке, активация 38-40 din/cm

Методика проведения испытания. Испытания проводятся при температуре $23 \pm 3^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха от 40 % до 80 %. Для проведения лабораторного испытания необходимо из отобранных проб вырезать образцы шириной 15 мм и длиной 180 мм в количестве 5 шт.. На подготовленных образцах был сформирован сварной шов на термосварочной машине при следующих параметрах для комбинированного материала: $t=135^\circ\text{C}$ для верхнего и нижнего прижима; $T=0,4$ с; $P=2,3$ бар. На универсальной испытательной машине был установлен датчик силы на 250 Н, расстояние между зажимами 100 мм, скорость 100 мм/мин.

Обработка результатов исследования. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты испытаний

№ образца	Состав ламината			Характеристика образца	Прочность сварного шва, Н/мм
	Наименование пленки	Вид	Толщина, мкм		
Образец №1	BOPP	прозрач.	20 мкм	Без печати, дуплекс ламинат	3,575 Н/мм
	BOPP	металл.	20 мкм		
Образец №2	BOPP	прозрач.	20 мкм	Дуплекс ламинат	3,8 Н/мм
	BOPP	металл.	20 мкм		
Образец №3	BOPP	прозрач.	20 мкм	Дуплекс ламинат	2,471 Н/мм

	BOPP	металл.	25 мкм		
Образец №4	BOPP	прозрач.	25 мкм	Дуплекс ламинат	2,267 Н/мм
	BOPP	прозрач.	25 мкм		
Образец №5	BOPP	прозрач.	20 мкм	Дуплекс ламинат	15,936 Н/мм
	CastPP	прозрач.	30 мкм		
Образец №6	BOPP	прозрач.	20 мкм	Дуплекс ламинат	17,242 Н/мм
	ПЭВД	прозрач.	40 мкм		

Диаграмма прочности сварного шва показана на рисунке 2.

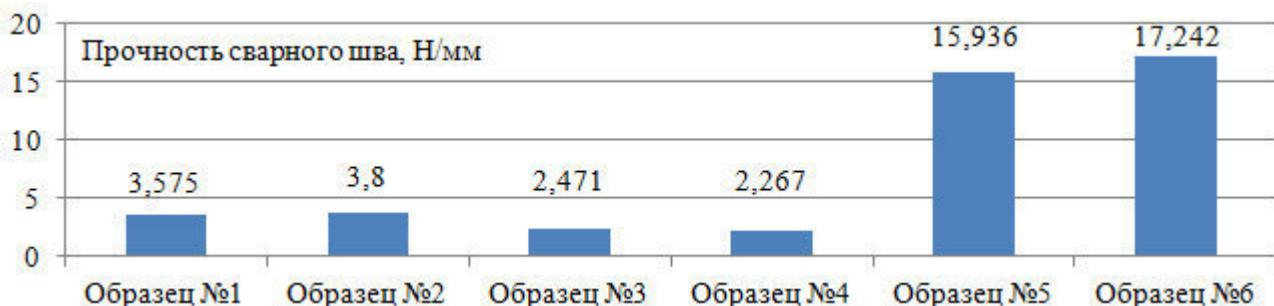


Рисунок 2. Диаграмма прочности сварного шва

Образцы №1 и №2 имеют одинаковый состав пленок в ламинате, но прочность сварного шва у образца №2 на 5,92% больше. Полученные результаты можно объяснить тем, что в образце №1 отсутствует красочный слой, поэтому по технологическим соображениям привес клея ниже (усредненное значение 1,35 г/м²) относительно образца №2 (усредненное значение привеса клея 2,1 г/м²). При увеличении толщины пленок прочность сварного шва снижается (на 34,97% и на 40,34% относительно образца №2 для образцов №3 и №4 соответственно). Прочность сварного значительно увеличивается при использовании в ламинатах пленок CastPP и ПЭВД, так при толщине ламинаата 50 мкм значение прочности сварного шва образца №5 больше в 7,03 раза, чем у образца №4. Наибольшее значение прочности сварного шва составляет 17,242 Н/мм и соответствует образцу №6, ламинат которого содержит прозрачную пленку BOPP и прозрачную пленку ПЭВД.

Выводы. Полимерный материал упаковки должен обеспечивать ряд технологических требований, в том числе способность формировать прочный сварной шов. В одном полимере невозможно сочетать все требуемые свойства, поэтому используются многослойные полимерные материалы, получаемые в процессе ламинации разных по характеристикам полимеров. Наибольшее распространение получили двухслойные материалы, верхний слой которых обладает барьерными свойствами, второй слой обеспечивает сварку. Были проведены испытания прочности для моно пленок (прозрачный и металлизированный BOPP, прозрачный CastPP, прозрачный ПЭВД) и готовых ламинатов. Факторами, влияющими на прочность сварного шва для моно пленок, при одинаковых параметрах температуры сварки, времени контакта и давления, являются состав материала пленок и его толщина. При использовании многослойных материалов к этим факторам добавляются низкая адгезия между слоями пленок, которая может быть вызвана низкой степенью активации, неполное закрепление красочного и клеевого слоев, низкий привес клея при ламинации. Наибольшая прочность сварного шва наблюдается у ламинатов, в состав которых входит пленки CastPP и ПЭВД, что подтверждает результаты входного контроля материалов. Таким образом, механические свойства материалов существенно влияют на прочностные свойства готовой упаковки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тимощенко О.А., Литунов С.Н. Исследование газопроницаемости сварного шва полимерной пищевой упаковки // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.3. Тула: Изд.-во ТулГУ, 2014. - 640с.
2. Гаврикова К. Российский рынок пластиковой тары и упаковки: комплексный анализ и прогноз/ Гаврикова К. // Официальная газета выставки RosUpack. – 2019. – 21 июня. – с.8.
3. Технология тары и упаковки : учеб.-метод. пособие для студентов «Технология полиграфических производств» / И.В. Марченко, О.П. Старченко. — Минск: БГТУ, 2014. — 110 с.
4. Бокарева В. Виды полимеров для изготовления пленок // Все о пленках. - 2017. спецвыпуск № 30. - с.-9-10.

УДК 004.032.26

М.Е. Марков, В.В. Варлашин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ФАЗ ШАГА ЧЕЛОВЕКА

Исследование возможности использования нейронных сетей для точного определения фаз шага человека, а также способы обработки экспериментальных данных углов поворота тазобедренного, коленного и голеностопного суставов для обучения на них нейронной сети является актуальной задачей для моделирования движения человека.

Методы исследования, указанные в данной статье: анализ экспериментальных данных.

Цель работы: выделение шагов и определение фазы шага в текущий момент времени по входным данным углов поворота тазобедренного, голеностопного и коленного суставов человека.

В состав лабораторной установки входит 8 камер ViconVero; 3 маркера, каждый из которых содержит по 5 светоотражающих шариков, расположенных на маркере уникальным образом; беговая дорожка с регулируемой скоростью движения в диапазоне 2-20 км/ч с интервалом 0.1 км/ч. В качестве программного обеспечения используется Tracker 3.3, MatlabR2016b и пакет Simulink.

Экспериментальные данные снимаются при равномерном движении по горизонтальной беговой дорожке. В процессе снятия экспериментальных данных участвуют 2 различных пользователя, для каждого из которых определяются зависимости углов поворота тазобедренного, голеностопного и коленного суставов от времени при нормальном шаге со скоростями 2-7 км/ч с интервалом в 1 км/ч. Углы поворота каждого из суставов определяются, как углы поворота маркера в сагиттальной плоскости, жестко закрепленного на соответствующей части ноги человека и отслеживаемого при помощи камер. Угол поворота тазобедренного сустава отмеряется относительно вертикальной прямой и имеет положительное значение в третьей координатной четверти и отрицательное в четвёртой.

Обработка экспериментальных данных заключается в следующем. Проводится фильтрация полученных данных с целью получения непрерывной функции по дискретному набору данных. Для того, чтобы данные каждого шага содержали одинаковое количество значений, определяется средняя шага для конкретного набора шагов, используя преобразование Фурье. Для выделения нейронной сетью зависимостей между текущим углом поворота всех суставов ноги и фазой шага, им соответствующей, необходимо выделить отдельные шаги из всего набора данных. Для отсечения шагов, не удовлетворяющих заданным ограничениям, вычисляется норма второго порядка для полученных шагов. Это необходимо делать из-за ложных выбросов в некоторых шагах,

полученных в результате ошибки оператора в совершении нормального шага. Ограничения подбираются визуально за счёт сравнения графиков неотсечённых шагов и графика среднего шага по всем данным выборки путём проведения серии запусков программы обработки данных с последовательным увеличением строгости ограничений. Для упрощения дальнейшей разметки шагов по фазам и увеличения точности обучения нейронной сети вычисляются первые производные углов поворота тазобедренного, голеностопного и коленного суставов человека, после чего к ним применяется медианная фильтрация, сглаживающая случайные выбросы производных.

Входной вектор для обучения нейронной сети содержит в себе сопоставленные по времени углы поворота и их производные, соотнесённые друг с другом по времени. В качестве обучающей выборки нейронной сети используется заранее составленная разметка каждого шага из входных данных по фазам шага человека [1]. Соответствующие границы фаз выбираются по соответствующим им точкам экстремума [2].

Пример входного набора для данных одного из пользователей, движущегося со скоростью 2 км/ч, после обработки программой, представлен на рисунке 1.

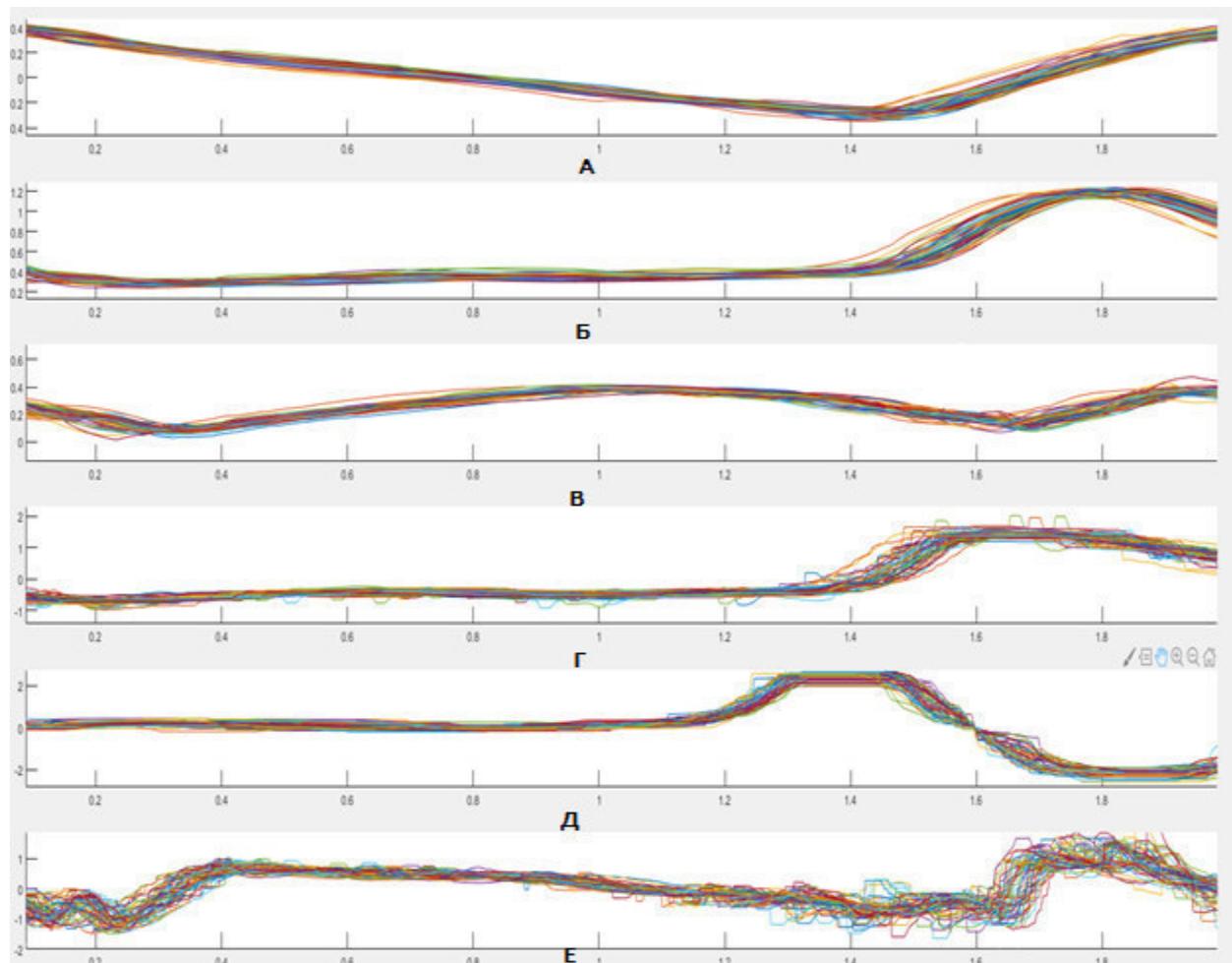


Рисунок 1. Пример входного набора данных одного из пользователей.

Зависимости углов поворота суставов человека от времени шага:

А – тазобедренного, Б – коленного, В – голеностопного;

зависимости первых производных углов поворота суставов человека от времени шага :

Г - тазобедренного, Д – коленного, Е – голеностопного

В качестве обучаемой нейронной сети используется нейронная сеть прямого распространения с алгоритмом обратного распространения ошибки, содержащая 5 слоёв. Структура нейронной сети приведена на рисунке 2.

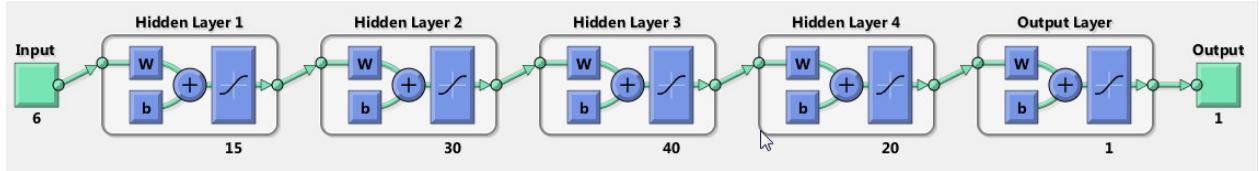


Рисунок 2. Структура выбранной нейронной сети

В качестве тренировочных параметров задаётся 1000 эпох обучения; отсутствие порога окончания обучения по времени; цель – стремление ошибки к нулю; наибольшее значение градиента, при котором решение считается найденным, $\text{min_grad} = 10\text{e-}7$. Среднее время обучения при этом составляет 1 час.

Для корректного распознавания фаз шага по выходу обученной нейронной сети необходимо программно фильтровать полученную разметку шага по фазам с целью устранения единичных выбросов. Полученная на выходе после обучения нейронной сети и последующей фильтрации медианным фильтром с окном, равным одной девятой цикла шага, разметка входных данных по фазам, представлена на рисунке 3.

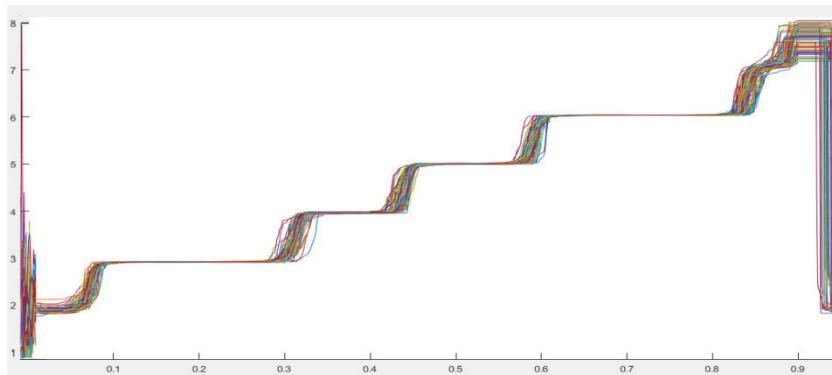


Рисунок 3. Разметка шага по фазам по данным, полученным с выхода нейронной сети

Вывод: Результаты, полученные на выходе нейронной сети, позволяют с высокой точностью определять начало 2-8 фаз шага, как изменение разметки по фазам более, чем на 0.5 от номера фазы, а начало первой фазы, как изменение номера фазы с 8 до 6 или ниже. Проблема возникает только с определением первой фазы шага – фазы контакта, так как её продолжительность слишком мала. Для надёжного определения этой фазы необходимо использовать систему с IMU-датчиками [3], так как при фазе контакта наблюдается резкое изменение ускорение ступни, что надёжно может быть зафиксировано акселерометрами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Скворцов Д.В., Клинический анализ движений. Анализ походки: Издательство НПЦ - “Стимул”, Иваново, 1996. - 344 с.
2. Витензон А.С., Петрушанская К.А. К фазовому анализу ходьбы и некоторых ритмических движений человека, Российский журнал биомеханики, 2005, том 9, № 1: 19-35
3. HuGaDB: Human Gait Database for Activity Recognition from Wearable Inertial Sensor Networks // Analysis of Images, Social Networks and Texts. 6th International Conference, Lecture Notes in Computer Science, Revised Selected Papers, 2017

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ФОТОПОЛИМЕРНЫХ ФЛЕКСОГРАФСКИХ ФОРМ И СРАВНЕНИЕ ИХ
С АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ АНАЛОГАМИ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ
КАЧЕСТВА ПЕЧАТИ НА ГОФРОКАРТОНЕ**

Актуальность. На сегодняшний день флексографская печать дает не менее 1-3% годовых темпов роста в год в мире, а показатель в России составляет 2-4%. Поскольку рынок печати на гофрокартоне имеет тенденцию роста то, соответствующим образом, будут расти и требования к качеству будущего оттиска [1]. Напрямую на качество изготавливаемой продукции влияют формные процессы. Поэтому, основополагающим направлением во флексопечати будет внедрение новых технологических решений в допечатной подготовке. Актуальность проведения данной работы вызвана особенностью использования фотополимерных печатных пластин для печати по гофрокартону, а так же увеличением на рынке числа производителей формных пластин и появлением новых технологий изготовления печатных пластин.

Цель исследования. Целью работы является исследование оптимальных параметров изготовления фотополимерных флексографских форм и сравнение их с альтернативными аналогами с целью улучшения качества печати на гофрокартоне.

Задачи исследования. Обзор рынка печати на гофрокартоне. Ключевые тенденции на рынке картона и гофрокартона. Оценка технологических возможностей и сравнение с аналогами восточных производителей печатных форм. Выявление оптимальных параметров изготовления форм.

Развитие рынка картона и гофрокартона происходит в соответствии с общим ростом промышленности и, как ожидается, будет иметь устойчивую положительную динамику. В рамках базового сценария развития предполагается, что рынок картонной упаковки в 2019 году вырастет приблизительно на 3%, и продолжит рост умеренными темпами +2,5-3%, достигнув порядка 5 019 тыс. тонн в 2021 году. На рисунке 1 представлена диаграмма объема потребления упаковки из картона и гофрокартона до 2021 года в рамках базового сценария развития, тыс. т.[2]



Рисунок 1. Объем потребления упаковки из картона и гофрокартона до 2021 года в рамках базового сценария развития, тыс. т.

Гофрокартон состоит из листов обычного картона, склеенного между собой специальным kleem. Как минимум он состоит из двух слоев, один слой ровный (топлейнер), другой слой волнистый (флютинг). Данный вид материала обладает различной жесткостью и амортизационными способностями в зависимости от направления давления на него. Если материал подвергается давлению перпендикулярно плоскости, то он работает как амортизатор, однако если приложить усилие параллельно его плоскости, то его прочностные характеристики многократно возрастут. В зависимости от предъявляемых требований выбирают различные виды гофрокартона [3]. Поскольку увеличиваются требования к качеству печати потребляемой продукции, увеличивается и количество предложений от производителей форм, в том числе и восточных производителей.

Как было отмечено ранее, на рынке формных пластин ожидается увеличение числа восточных производителей. Для исследования оптимальных параметров печати были выбраны пластины двух производителей DuPontTCP (Германия) и NextPoseFA (Китай). Обе пластины имеют толщину 6,35 мм. Заявленные производителями пластин характеристики практически идентичны. Сравнение пластин будет проводиться по следующим параметрам: отдельно стоящие линии толщиной 0,2 мм; 0,35 мм; 0,45 мм; 0,6 мм; 0,75 мм, текст без засечек и с ними величиной 6 pt, 8pt, 10pt, 12pt, выворотка, отдельно стоящая точка 0,2 мм; 0,35 мм; 0,45 мм; 0,6 мм; 0,75 мм. В таблице 1 представим параметры обработки пластин.

Таблица 1. Параметры прямого экспонирования пластин

Номер эксперимента	Время прямого экспонирования для пластины DuPontTCP (мин)	Время прямого экспонирования для пластины NextPoseFA(мин)
1	10	10
2	15	15
3	18	18

Отметим, что все остальные операции (обратное экспонирование, сушка, финишинг) и параметры изготовления будут аналогичными для двух испытуемых образцов.

Для осуществления визуального контроля воспользуемся лупой 10x с подсветкой и микроскопом SKS MicroScope 50xSD. Для инструментального контроля воспользуемся прибором Vipflex 334 и стереомикроскопом Olympus SZ 61.

При проведении исследования с помощью визуального и аппаратного контроля было выявлено оптимальное время экспонирования для каждой пластины.

Посредством визуального контроля можем сделать вывод, что времени экспонирования 10 минут недостаточно для точного воспроизведения элементов как для пластины DuPontTCP, так и для пластины NextPoseFA. Из-за недостаточного времени экспонирования текст и другие маленькие элементы не воспроизводятся.

Оптимальное время основного экспонирования для пластин обоих производителей составило 15 минут. Обе пластины отлично справляются с воспроизведением даже маленького текста величиной 6pt. Воспроизводимый с помощью двух пластин текст, представлен на рисунке 2.



Воспроизведение на пластине DuPont

Воспроизведение на пластине NextPose

Рисунок 2. Текст различной величины, воспроизводимый исследуемыми пластиналами

Разница в воспроизведение текста с засечками так же очень мала и заметна лишь при детальном рассмотрении с помощью микроскопа. При этом воспроизведение отдельно стоящих точек размером 0,2 мм и 0,35 мм невозможно ни в одной из рассматриваемых пластин. Это связано, прежде всего, с толщиной печатной пластины и ее жесткостью.

Отметим, что на пластинах DuPontTCP можно получить устойчивую точку уже начиная с размера 0,45 мм, а в пластинах NextPoseFA мы получаем устойчивый элемент только с 0,75 мм. Полученные элементы представлены на рисунке 3.

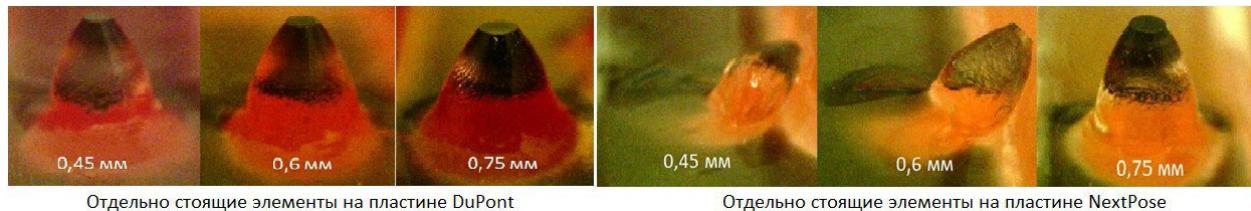


Рисунок 3. Отдельно стоящие элементы, воспроизводимые исследуемыми пластиналами

Отличий в воспроизведении линий различной толщины практически нет. На обеих пластинах можно получить прямую линию, начиная с толщины 0,45 мм. Линии этой толщины представлены на рисунке 4.

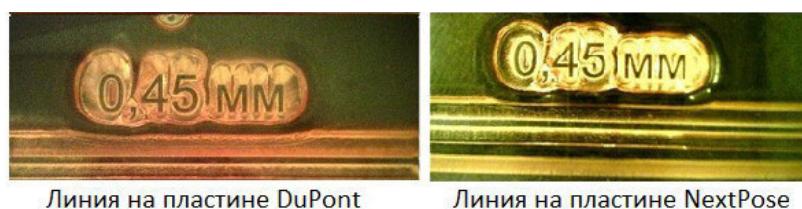


Рисунок 4. Линии воспроизводимые пластиналами при времени экспонирования 15 минут

Время экспонирования 18 минут не требуется, так как все элементы формируются раньше. Отличий в воспроизведении элементов в сравнении со временем экспонирования 15 минут нет.

Выводы. На сегодняшний день доля упаковки из гофрокартона постепенно вытесняет другие виды продукции и укрепляет свои позиции на рынке флексопечати. В таких условиях возрастают требования к качеству печати, а так же будут появляться принципиально новые решения в изготовлении пластин. При этом конкуренцию мировым компаниям составят менее известные альтернативные производители. В работе проведено сравнение воспроизведения различных элементов двумя пластиналами в зависимости от времени основного экспонирования. Установлено, что обе пластины показывают идентичные результаты при воспроизведении критических элементов за исключением очень тонких элементов, где пластины DuPontTCP показывают лучшие результаты. Для воспроизведения некоторых элементов (отдельно стоящая точка) пластиналам NextPoseFA требуется больше времени основного экспонирования, чем пластиналам фирмы DuPontTCP.

ЛИТЕРАТУРА:

- Кузьмин Б.А., Закиров Д.М., Каган Б.В., Бобрович А.Д., Григорьев В.В., Российская полиграфия, состояние, тенденции и перспективы развития. (Отраслевой доклад). Федеральное агентство по печати и массовым коммуникациям. Управление периодической печати, книгоиздания и полиграфии. – 2019. – 87 с.
- Ванчаков М.В., Кейзер П.М., Дубовый В.К. Технологическое оборудование для производства картонной и бумажной тары: учебное пособие. – СПб.:СПб ГТУРП. 2014. – 133 с.

3. Пинчукова К.В., Перспективы использования картона и гофрокартона в упаковочной отрасли / Пинчукова К.В., Глазкова Я.В., Кужугалдинова З.Б./ Молодой ученый. – 2017. – №13 – С. 75–77.

УДК 67.02

И.А. Ильина, С.С. Хамзина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВОЙ РЕЗОНАТОРНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЕЧАТИ В ПОЛИГРАФИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В данной статье рассматриваются возможные пути внедрения цифровой резонаторной лазерной печати в массовом полиграфическом производстве.

Актуальность данной статьи заключается в том, что исследования в области нанофотоники в значительной степени опираются на самые современные и дорогостоящие технологииnano- и микроизделий. Хотя такие технологии достаточно развиты, их внедрение в крупномасштабном полиграфическом производстве фотонных устройств не является простым. Это становится основным препятствием для интеграции нанофотонных функций, таких как плоская оптика или цветная печать без чернил.

В частности, оптические метаповерхности — наноразмерные текстурированные поверхности с инженерными оптическими свойствами [1] — удерживающие большой потенциал для множества таких функций.

Цель работы состоит в том, чтобы найти недорогое решение для разрешения препятствия для интеграции нанофотонных функций на полиграфическое производство.

Цифровая лазерная печать была представлена как недорогое решение, которое позволяет изготавливать элементы высокого разрешения на оптических подложках. Используя резонансную оптико-термическую модификацию отдельных наноразмерных элементов, лазерная печать может достичь разрешения в нанометровом размере [2]. Кроме того, концепция цифровой резонансной лазерной печати на Nanoscale поддерживает массовую настройку и, следовательно, может превратить нанофотоническую науку в повседневную.

Технология цифровой резонансной лазерной печати (DRLP) была разработана как гибкая технология пост-печати для массовой настройки оптических мета-поверхностей. Функции, выполняемые DRLP, представлены на рисунке 1.



Рисунок 1. Функции цифровой резонансной лазерной печати

Сильное резонансное поглощение энергии при импульсном лазерном облучении локально повышает температуру решетки отдельных метаатомов в ультракоротком масштабе времени. Это было продемонстрировано для плазмонных и высокоиндексных диэлектрических мета-поверхностей. В процессе DRLP быстрое плавление учитывает изменения, обусловленные поверхностной энергией, отдельных метаатомов с соответствующей модификацией амплитуды, фазы и поляризации отраженного и прошедшего света от мета-поверхности [3, 4].

В сочетании с использованием шаблонов с большой площадью мета-поверхности, DRLP является многообещающим подходом для недорогих настраиваемых фотонных устройств с элементами для приложений в таких областях, как голограммы, продукции с защитой от подделок и виртуальной реальности.

DRLP также открывает новые направления в фундаментальных исследованиях нанофотоники. Помимо морфологических изменений плазмонных наноструктур, DRLP позволяет изменять кристалличность материала. Наносекундные лазерные импульсы могут изменить метаатомы от аморфных до кристаллических, что сопровождается большим изменением показателя преломления. Это изменение фазы обратимо, что позволяет перезаписывать метаповерхности [5].

Высокая температура в DRLP также может быть использована для локального окисления или нитризации металлов с целью локально функционализировать пассивные пленки. Например, можно использовать локальное окисление титана с помощью DRLP для создания умных поверхностей, где смачиваемость может быть адаптирована наnanoуровне: чистый титан является гидрофильным, в то время как DRLP-области оксида титана являются гидрофобными.

На данный момент цифровая резонаторная лазерная печать находит различное применение на полиграфическом производстве, однако разнообразие нанофотонных продуктов, естественно, требует разработки эффективных, универсальных и высококачественных технологий, которые также должны быть подготовлены к производственной цепочке в полиграфической промышленности для оптимизации затрат производства на внедрение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. F. Ding, A. Pors, S.I. Bozhevolnyi, Gradient metasurfaces: fundamentals and applications, Rep. Prog. Phys. 80 (2017)
2. A. Kristensen, J.K.W. Yang, S.I. Bozhevolnyi, S. Link, P. Nordlander, N.J. Halas, N.A. Mortensen, Plasmonic colour generation, Nat. Rev. Mater. (2016)
3. S. Sun, Z. Zhou, C. Zhang, Y. Gao, Z. Duan, S. Xiao, Q. Song, All-dielectric full-color printing with TiO₂ metasurfaces, ACS Nano (2017)
4. U. Zywietsz, A.B. Evlyukhin, C. Reinhardt, B.N. Chichkov, Laser printing of silicon nanoparticles with resonant optical electric and magnetic responses, Nat. Commun. (2014)
5. J. Ayres, W. Simendinger, C. Balik, Characterization of titanium alkoxide sol–gel systems designed for anti-icing coatings: I. Chemistry, J. Coat. Technol. Res. (2007)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИДКОГО ТОНЕРА ДЛЯ СТРУЙНОЙ ПЕЧАТИ DROP-ON-DEMAND

Актуальность. Физико-химические свойства струйных жидких тонеров существенно влияют на качество распечатки, что является ключевым параметром в работе печатного электронного устройства (ПЭУ). Растворитель оказывает важнейшее влияние на реологические свойства жидкого тонера, окончательное образование капель, струйное распыление и кинетику сушки.

Цель исследования. Выявить наиболее подходящий растворитель жидкого тонера для струйной печати drop-on-demand (сульфолан, 3-метоксипропионитрил или ацетонитрил).

Задачи исследования. Исследовать взаимосвязь реологических характеристик жидкого тонера с внешними факторами (скорость деформации сдвига, температура) в зависимости от используемого растворителя.

Струйная печать предлагает безмасляное нанесение тонера с точностью микрометра и экономией материалов [1]. Технология струйной печати drop-on-demand широко используется в лабораторных исследованиях, на данный момент является одной из наиболее перспективных технологий для массового производства печатных электронных устройств (ПЭУ), в частности интегральных схем, небольших антенн, солнечных элементов, батарей, тонкопленочных транзисторов и светоизлучающих диодов. Разработка ПЭУ обеспечивает постоянный спрос на высокое разрешение и возможность печати на разных подложках. Такая цель может быть достигнута благодаря оптимальному, надежному и устойчивому образованию капель, струйному и субстратно-капельному взаимодействию, которые зависят от реологических характеристик чернил, таких как поверхностное натяжение и вязкость [2]. При приложении достаточного напряжения к пьезоэлектрическому приводу в микроканале сопла принтера краски протекают через канал в зависимости от его вязкости. Когда кинетическая энергия и поверхностная энергия чернил преодолевают энергию, необходимую для выброса сферической капли, с помощью сжатия внутри камеры образуется капля и выбрасывается из сопла [3]. Жидкий тонер представляет собой полуразрушенные суспензии, состоящие из сложной смеси частиц, которые разделяются из-за взаимной несмешиваемости и силы отталкивания материала в неподвижном состоянии, так что система остается несмешанной. После приложения деформации и сдвига тонер может сначала проявлять индуцированную эластичность, поскольку сопротивление смешиванию достигает максимума, что вызывает дилатантность. Дилатантность, вызванная высокими скоростями сдвига, приводит к быстрому испарению при выбросе, а значит к нежелательному засорению сопел. Используя жидкий тонер с различными растворителями (сульфолан (SFN), 3-метоксипропионитрил (MPN) и ацетонитрил (ACN)) при различных температурных условиях печати, следует сопоставить изменение реологических параметров в процессе эксплуатации ПЭУ. Реологическое поведение тонера, сопровождающееся скоростью испарения растворителя, оказывает важнейшее влияние на результаты печати.

Вязкоупругий профиль жидких тонеров представлен на рисунке 1.

Динамические измерения вязкости тонеров (рисунок 1, а) указывают на поведение прореживания при низких и средних скоростях деформации сдвига и поведение сгущения при более высоких скоростях деформации сдвига. Комплексная вязкость (рисунок 1, б) представляет собой структурную деформационную характеристику тонера. Вязкоупругие

измерения также указывают на изменение снижение вязкости η^* для низких и средних угловых частот с дилатантным поведением на более высоких частотах. Более однородная реакция вязкости на скорость деформации сдвига наблюдалась в электролизе на основе сульфолана (SFN), тогда как как ACN, так и MPN имели выраженное увеличение вязкости при изменении скорости деформации сдвига.

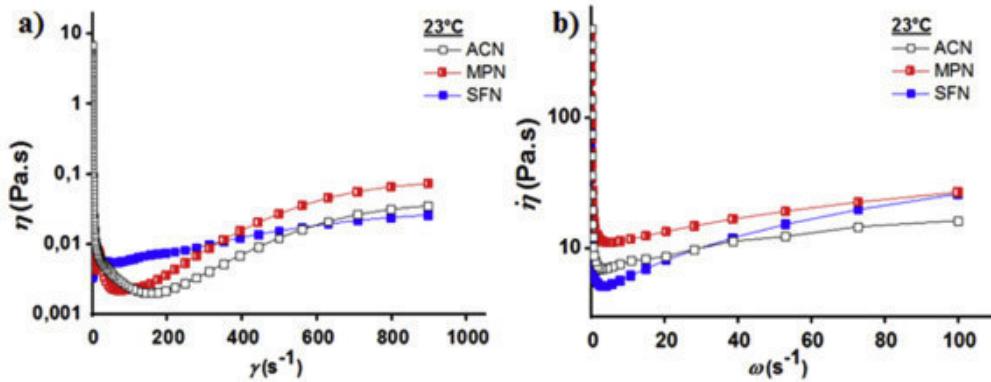


Рисунок 1. Реологические свойства тонера:
a) динамической сдвиговой вязкости (η) и b) комплексной (η^*) вязкости

На рисунке 2, a показан типичный график вязкости при низких скоростях деформации сдвига, но по мере увеличения скорости деформации сдвига во втором интервале (60-90 сек) вязкость уменьшается до очень низкого значения. Значение скорости деформации сдвига снова уменьшается на третьем интервале (90-150 сек), а вязкость снова возрастает до более высокого значения, превышающего значение в первом интервале (0,1-60 сек). Такое поведение является типичным для дилатантов. На рисунке 2, b показано дилатантное поведение тонеров, когда скорость деформации сдвига линейно возрастает между 50 и 500 сек. Как видно из рисунка 2, растворитель SFN имеет гораздо меньшую флюктуацию вязкости по сравнению с другими растворителями при постоянной скорости деформации сдвига.

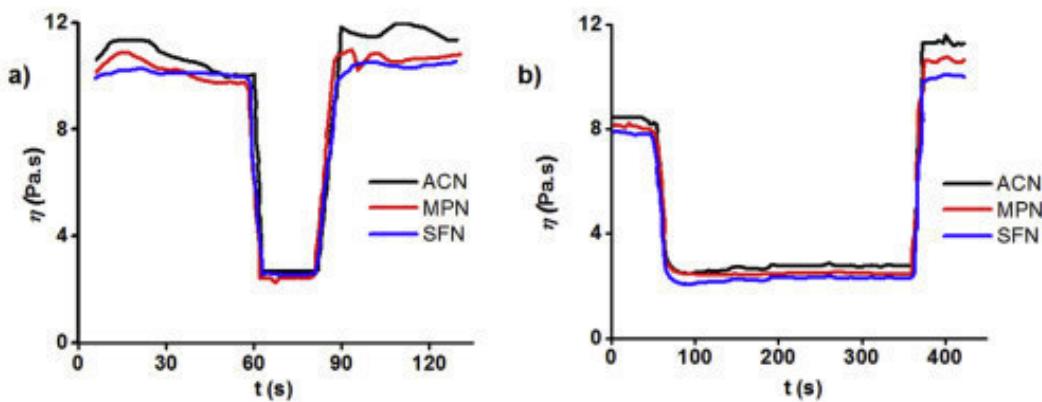


Рисунок 2. Графики изменения вязкости образцов:
a) постепенное увеличение скорости деформации сдвига с повышением скорости сдвига на 60-90 сек,
b) линейно увеличивающаяся скорость деформации сдвига в интервале 50-400 сек

Кривые поведения динамической вязкости при разных температурах, 23°C, 40°C и 60°C (рисунок 3) показывают, что увеличение температуры приводит к уменьшению признаков дилатантов при высоких скоростях деформации сдвига. Даже при небольшой дилатансии при более высоких температурах (40°C и 60°C) вязкость всех трех тонеров остается

пониженной при высоких значениях скоростей деформации сдвига. Нагревание тонеров приводит к более высокой подвижности внутри частиц в матрице тонеров, уменьшению флуктуаций.

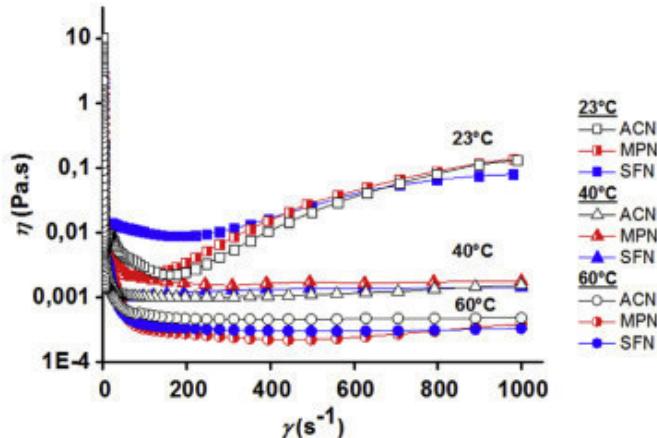


Рисунок 3. Динамическая вязкость (η) и скорость деформации сдвига (γ) при различных температурах

На рисунке 4 представлен угол контакта капель на печатной подложке (бумаге) и поверхностное натяжение подвесных капель, соответственно. Сульфолан (SFN) проявил более стабильную картину распространения по сравнению с ACN и MPN, поддерживая угол контакта в течение длительного периода (рисунок 4, a). Такая процедура медленной сушки капли объясняется улучшением самоорганизации компонентов в тонерах. Поверхностное натяжение определяется в той же гониометрической установке, в которой измеряются значения поверхностного натяжения нагревательной камеры, начиная от комнатной температуры до 60°C для ACN, MPN и SFN соответственно (рисунок 4, b). При повышенных температурах все значения поверхностного натяжения уменьшались, как ожидалось, однако поверхностное натяжение SFN во время термического перепада изменялось меньше.

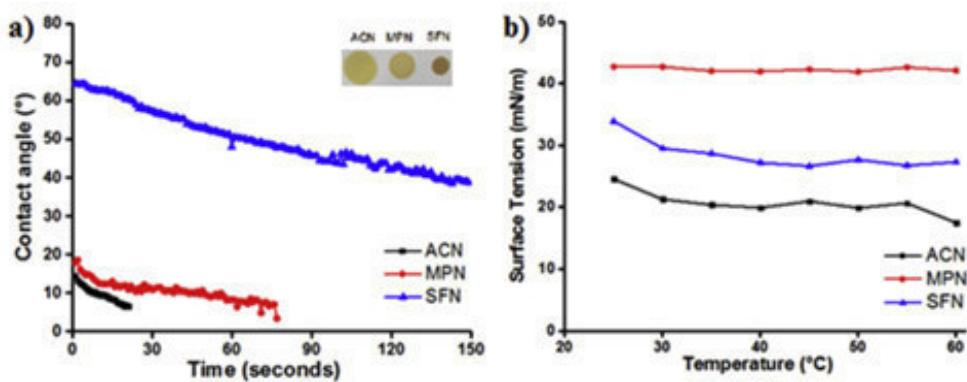


Рисунок 4. Поведение тонеров: а) угол контакта тонеров в зависимости от времени, б) поверхностное натяжение тонеров при изменении температуры

Выводы. Проведённые исследования показали, что использование сульфолана в качестве растворителя жидкого тонера для струйной печати drop-on-demand позволяет получить наилучшее качество печатного оттиска благодаря оптимальным реологическим характеристикам, зависящим от скорости деформации сдвига и температуры.

ЛИТЕРАТУРА:

1. H. Kang, D. Soltman, V. Subramanian, Hydrostatic optimization of inkjet-printed films, *Langmuir* 26 (2010) 11568-11573.
2. B. Derby, Inkjet printing of functional and structural materials: fluid property requirements, feature stability, and resolution, *Annu. Rev. Mater. Res.* 40 (2010) 395-414.
3. Виноградов Е.Л., Ваганов В.В. Физические основы контактной и бесконтактной печати — СПб.: Издательство политехнического университета, 2017. — 244 с.

УДК 681.6.064

А.В. Угрюмов, И.А. Ильина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МОДЕРНИЗАЦИЯ МАШИНЫ ФЛЕКСОГРАФИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ С ЦЕЛЬЮ УСКОРЕНИЯ ПЕРЕНАЛАДКИ

Уменьшение длительности переналадки печатной машины с тиража на тираж является острой проблемой при сложившихся особенностях полиграфического производства во всём мире. В кризисных условиях увеличивается количество тиражей при уменьшении их объёма [1]. Таким образом, длительность переналадки печатной машины может быть эквивалентна времени печати тиража, а в отдельных случаях превосходить его.

Тематика данной работы будет актуальной для предприятий, основным видом печати которых является флексография. Полиграфические машины флексографической печати, установленные на таком производстве, позволяют производить печать на полимерных пленках, металлизированной фольге и бумагах на скоростях до пятисот пятидесяти метров в минуту. При больших затратах времени на переналадку предприятие теряет потенциальную прибыль. Именно поэтому исследования по уменьшению времени переналадки печатных машин востребованы на этом предприятии.

Главной тенденцией в области уменьшения времени переналадки печатных машин является автоматизация процесса технологического перехода. Однако процесс автоматизации является дорогостоящим. Именно поэтому при исследовании путей уменьшения переналадки печатной машины необходимо не только проводить автоматизацию, но и осуществлять оптимизацию всех процессов, связанных с технологическим переходом с тиража на тираж. Для проведения исследования оптимальным решением будет использовать аналитический подход к совершенствованию наладки и переналадки SMED [2]. SMED предусматривает прогрессивный подход к совершенствованию переналадки, при котором необходимо пройти 4 основные стадии: анализ операций переналадки, разделение операций на внешние и внутренние, перенос внутренних операций во внешние, изучение дополнительных возможностей для улучшений. Таким образом, только осуществив первые три стадии можно переходить к последней – модернизации самой машины.

Во время проведения исследования на флексографической печатной машине Windmoller & Holscher Miraflex CL10 было выявлено, что одной из самых затратных по времени операций в ходе переналадки является слив промывочного раствора после промывки печатных секций машины. Оператор производит слив раствора вручную, поочерёдно для каждой секции. Опытным путём было получено, что время слива промывочного раствора с одной красочной секции имеет нормальный закон распределения со средним значением 2 минуты и средеквадратическим отклонением 0,3 минуты. Из этого следует, что на десятикрасочной машине объединив операции слива можно сэкономить приблизительно от двух до двадцати минут от времени переналадки.

Объединить операции слива с десяти красочных секций поможет модернизация системы красочных секций. На рисунке 1 схематически показано устройство системы слива раствора с печатной машины.

На схеме можно видеть механический клапан – 1. Оператору печатной машины необходимо вручную отсоединять шланг от системы обратной подачи, перемещать шлаг к приготовленному ведру и открывать механический клапан вручную. Модернизировать машину можно путём установки устройства, показанного на рисунке 2, взамен устройства, показанного на рисунке 1.

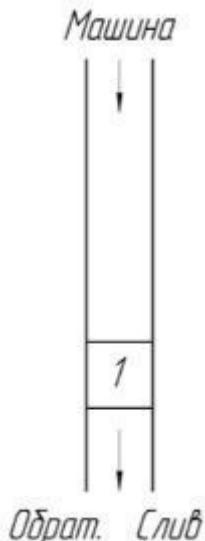


Рисунок 1. Схема устройства системы слива раствора с печатной машины

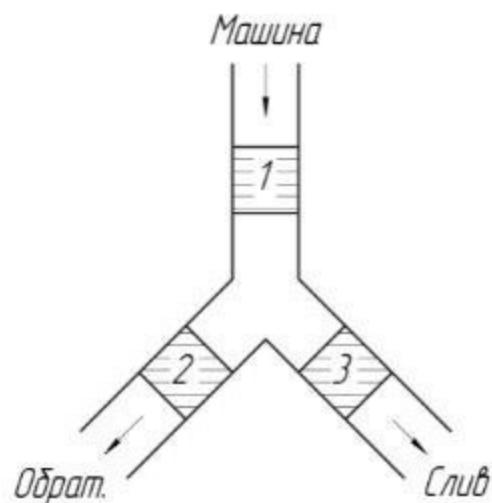


Рисунок 2. Схема устройства автоматической системы слива раствора с печатной машины

На схеме представлены: датчик мутности – 1, взрывобезопасные электропневматические клапаны – 2, 3. Такое устройство слива позволит устранить дополнительные перемещения оператора во время переналадки, необходимость механического взаимодействия с клапанами исключить возможность разлива промывочного раствора, а также объединить операции слива со всех используемых секций.

Проведём моделирование процесса слива промывочного раствора при помощи программы Arena [3]. На рисунке 3 представлена модель работы устройства слива промывочного раствора.

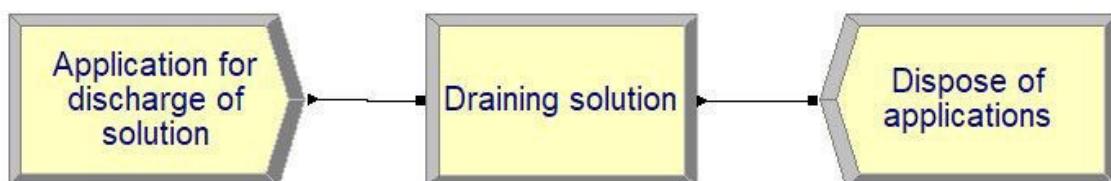


Рисунок 3. Модель работы устройства слива промывочного раствора

На рисунке 3 можно увидеть три модуля. Модуль «Create», в нём создаются заявки на слив раствора с определённой периодичностью. Из статистики предприятия по работе машины доподлинно известно, что за год на машине происходит приблизительно 450 переналадок, поэтому для модуля «Create» было задано значение 1,23 заявки в день. Модуль

«Process» имитирует время, затрачиваемое на слияние растворов с красочными секциями. Общее время, затрачиваемое на слияние растворов, подчиняется треугольному закону распределения с минимальной точкой 2 минуты, максимальной 20 минут и средней 12 минут. Время, затрачиваемое на слияние раствора с одной красочной секцией, подчиняется нормальному закону распределения со средним значением 2 минуты и среднеквадратическим отклонением 0,3 минуты. Модуль «Dispose» позволяет считать количество вышедших заявок.

В результате моделирования системы на протяжении года были получены следующие результаты: время, затрачиваемое на слияние промывочного раствора до модернизации, составляет 67,75 ч., после модернизации – 11,86 ч. Таким образом, модернизация системы слива промывочного раствора позволит сэкономить более 55 часов работы машины.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кузьмин Б.А., Закиров Д.М., Каган Б.В., Бобрович А.Д., Григорьев В.В., Российская полиграфия, состояние, тенденции и перспективы развития. (Отраслевой доклад). Федеральное агентство по печати и массовым коммуникациям. Управление периодической печати, книгоиздания и полиграфии. – 2019. – 87 с.
2. Изучение производственной системы Тойоты с точки зрения организации производства / Пер. с англ. — М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2006. - 312 с.
3. Simulation with Arena, 5th Edition by W. David Kelton, Randall, P. Sadowski, Nancy B. Swets, Rockwell Automation, McGraw-Hill, 2010.

УДК 667.5

И.Е. Маркевич, В.В. Ваганов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КРАСОК НА ОСНОВЕ НАНОПИГМЕНТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СМЕСИ КРАСИТЕЛЕЙ

Актуальность. Одной из наиболее перспективных технологий в современной полиграфии является модификация печатных красок наноструктурированными пигментами, это позволяет не только повысить яркость, насыщенность и стойкость печатной продукции к различным видам воздействия, но и снизить ее себестоимость, повышая рентабельность применения печатных красок [1]. Одним из возможных путей улучшения печатных свойств красок на основе нанопигментов, является исследование наличия синергетического эффекта при использовании смеси красителей для получения нанопигмента, так как данный эффект свойственен традиционным краскам на основе красителей.

Цель исследования. Целью работы является изучение свойств красок, изготовленных на основе нанопигментов, полученных с применением смеси красителей.

Задачи исследования. Исследовать важные свойства печатных красок, на основе модифицированных нанопигментов, полученных с использованием смеси красителей; провести сравнение данных характеристик с характеристиками нанопигментов, полученных на основе одного красителя.

Исследование возможностей красок, на основе модифицированных наночастиц показало, что они являются очень перспективными для использования в различных сферах не только полиграфической, но и лакокрасочной промышленности [2]. Традиционным краскам на основе красителей свойственно наличие синергетического эффекта при использовании смеси разных красителей в одной композиции, это позволяет предположить, что и при окрашивании наночастиц в момент получения нанопигмента может наблюдаться такой же эффект.

Для исследования наличия синергетического эффекта, необходимо сравнить свойства печатных красок, полученных на основе нанопигментов, изготовленных с применением смеси красителей, с обычными красками на основе нанопигментов по основным характеристикам (являющимся зачастую критерием качества), описанным нами ранее [3]. Далее будет произведено сравнение нанопигментов на основе одного и смеси красителей по следующим параметрам:

- количество осаждаемого красящего вещества;
- стойкость к выцветанию;
- стойкость к термическому воздействию;
- стойкость к истиранию;
- структура образуемого красочного слоя;

Количество осаждаемого красящего вещества. В связи с тем, что в ряде случаев при получении нанопигментов наносимый краситель лишь частично сорбируется на монтмориллоните, количество его содержания в нанопигменте можно определять по разности между количеством в исходном растворе и количеством в фильтрате после выделения нанопигмента. Опыты показали, что в зависимости от использования одного красителя или смеси красителей количество осаждаемого красителя может значительно увеличиваться, в случае использования смесей красителей (рисунок 1), т.е. при применении смеси красителей, как и предполагалось, наблюдается синергический эффект.

С точки зрения количества осаждаемого красителя, а как следствие насыщенности цвета и диапазона возможного цветового охвата, нанопигменты на основе смеси красителей более перспективны для применения в полиграфической промышленности.

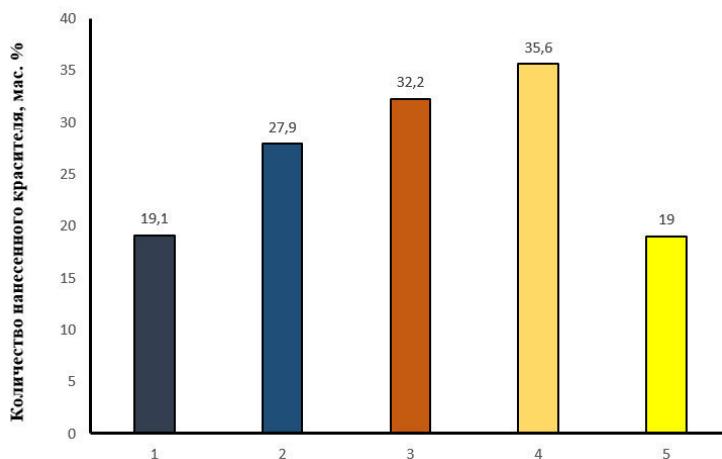


Рисунок 1. Влияние соотношения концентрации красителя на его содержание в нанопигменте:

1 – активный голубой; 2 – активный голубой; кислотный желтый пр H2KM (3:1);
3 – активный голубой; кислотный желтый пр H2KM (1:1); 4 – активный голубой; кислотный желтый пр H2KM (1:3); 5 – кислотный желтый пр H2KM

Стойкость к выцветанию. Анализ устойчивости оттисков к воздействию света свидетельствует о том, что светостойкость нанопигментов на основе смесей красителей во многих случаях не является аддитивной функцией светостойкости самих красителей — наблюдается синергетический эффект. Введение устойчивых красителей приводит к значительному (иногда на несколько порядков) увеличению устойчивости менее светостойкого компонента.

Данные эффекты характерны именно для пигментов на основе смесей красителей и не обнаружены или наблюдаются в существенно меньших масштабах для композиций,

окрашенных смесью нанопигментов на основе индивидуальных красителей. Обнаружено, что очень редко неустойчивые красители могут ускорять выцветание более устойчивых, что приводит к низкой светостойкости композиции в целом.

Наглядно эффект увеличения светостойкости проиллюстрирован на рисунке 2. Неустойчивый краситель прямой желтый св. ЗХ (рисунок 2, 1) стабилизируется в смеси (рисунок 2, 2) красителем прямым голубым, что приводит к увеличению времени облучения, необходимого для аналогичного изменения оптической плотности в области поглощения желтого красителя, а, следовательно, и к повышению устойчивости всей композиции. Аналогичный эффект наблюдается и для смесей красителей дисперсного синего ПЭ и дисперсного желтого 63 (примеры 6, 7 рисунок 2). При окрашивании с использованием механической смеси нескольких нанопигментов, дающих отиск такого же цвета, как и нанопигмент полученный из смеси красителей, эффект принципиально меньше (позиции 5 и 4 соответственно, рисунок 2).

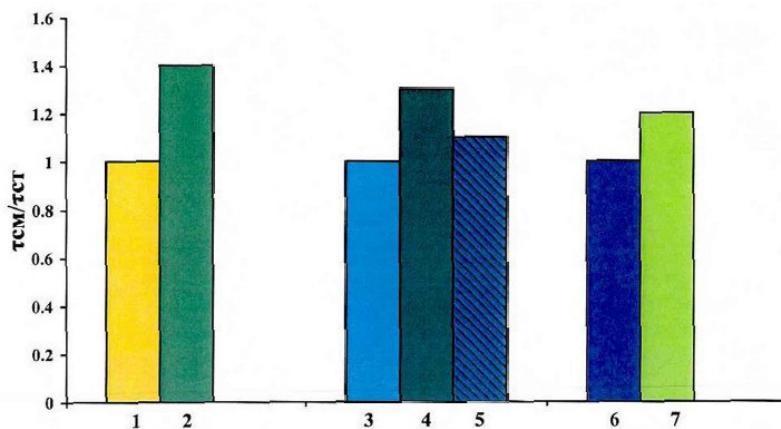


Рисунок 2. Сравнение времени выцветания для при использовании разных вариантов нанопигментов

В некоторых случаях, синергетический эффект особенно ярко выражен (рисунок 3), и устойчивость одного из красителей возрастает почти на порядок. Важно, что и в этом случае для механической смеси нанопигментов полученных на основе одного красителя эффект выражен в гораздо меньшей степени (рисунок 3, позиции 3 и 2 соответственно). Это позволяет полагать, что наблюдаемый эффект не сводится только к экранированию (поглощению света более устойчивым красителем), а обусловлен непосредственным взаимодействием благодаря высокой локальной концентрации в нанопигменте.

Стойкость к термическому воздействию; стойкость к истиранию; структура образуемого красочного слоя. Анализируя результаты опытов по сравнению данных характеристик, не было выявлено столь значимых отличий, как по рассмотренным выше критериям, однако, при использовании смеси красителей, также наблюдался незначительный синергетический эффект, в связи с чем результаты данных опытов опущены в рамках данной работы, как незначительно влияющие на общую картину перспективности использования смеси красителей.

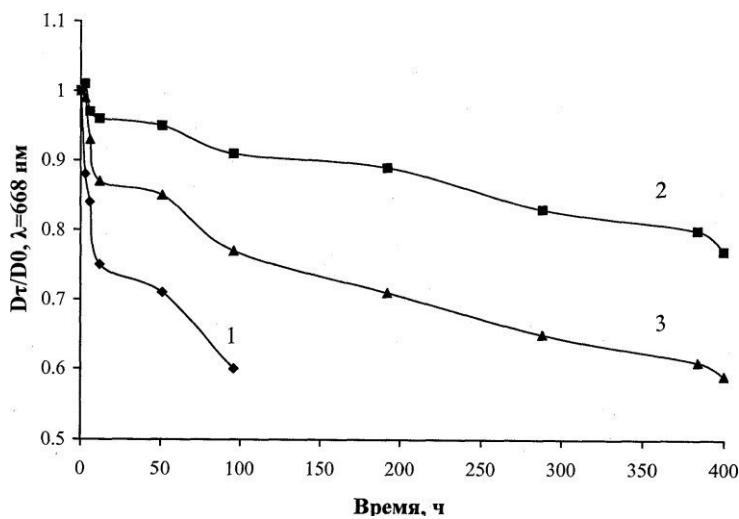


Рисунок 3. Кинетические кривые фотовыцветания для нанопигментов на основе:

1 – самого стойкого из пары красителей в смеси, 2 – смеси красителей,
3 – просто механической смеси нанопигментов, полученных с использованием красителей
составляющих смесь

Выводы. Исследования, проведенные в данной работе, показали наличия синергетического эффекта при использовании смеси красителей для получения нанопигмента, что дает значительное повышение характеристик синтезируемых на их основе печатных красок, в особенности таких как цветовой охват, насыщенность цвета и светостойкость. Важно отметить, что полученные результаты свидетельствуют о новизне, актуальности и необходимости дальнейших исследований данного вопроса с целью выявления других технологических преимуществ нанопигментов, получаемых с применением смесей красителей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ваганов В.В. Печатные краски. Состав, получение и применение / В.В. Ваганов, Г.В. Ваганов, Ф.О. Брюс. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 253 с.
2. Маркевич И.Е., Ваганов В.В. Исследование влияния нанопигментов на свойства красок для цифровой печати // Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием. Институт metallургии, машиностроения и транспорта. Ч. 2. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 424 с.
3. Маркевич И.Е., Ваганов В.В. Разработка критериев качества и способов их контроля для красок на основе модифицированных нанопигментов // Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием. Институт metallургии, машиностроения и транспорта. Ч.2. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – 413 с.

УДК 621.01:539.4

Ruonan ZHAO¹, Rulin MA²
^{1,2}Peter the Great St.-Petersburg Polytechnic University

OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS OF MODESWITCHING FRAME BASED ON REGRESSION ANALYSIS AND GENETIC ALGORITHM

Abstract. The mode switching is a plastic product widely used in many fields. The regression analysis is used to establish the model. In order to find the optimal forming process parameters, the

genetic algorithm is used to optimize the regression model. The best injection molding process parameters obtained by genetic algorithm and Moldflow are excellent injection time 1s, injection pressure 70 MPa, holding time 30 s, mold temperature 50 °C, melt temperature 250 °C. Through analysis, the optimized combination of process parameters effectively reduces the amount of warpage deformation, and the degree of influence of various factors on warpage deformation is: holding time > mold temperature > melt temperature > injection time > injection pressure, can improve the performance of the product.

Introduction. There is a close connection between the final quality of the injection molded product and the forming process parameters [1]. Unreasonable selection of process parameters will result in defects in the plastic parts [2]. Warping is a common defect in plastic products. In this paper, the multi-objective optimization of process parameters is realized by using Taguchi test method, combined with regression analysis and genetic algorithm [3].

Establish a finite element model. The object of this study is the mode switching, which belongs to small and medium-sized plastic products. The overall shape dimension of plastic parts is 93 mm×86 mm×30 mm. The software of UG is used for modeling, and the three-dimensional model is shown in Figure 1. Create a gating system and cooling system in Moldflow, as shown in Figure 2.

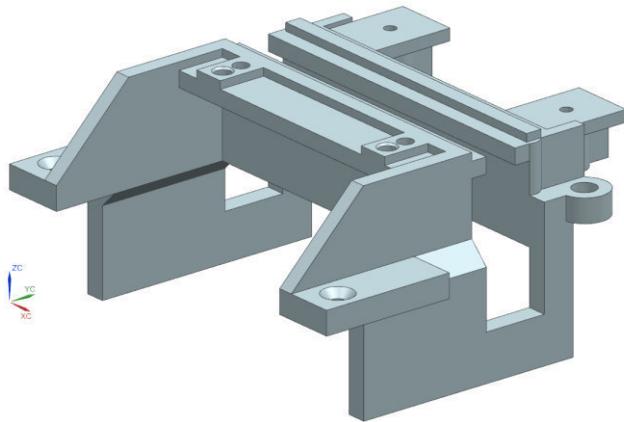


Figure 1. 3D model of plastic parts

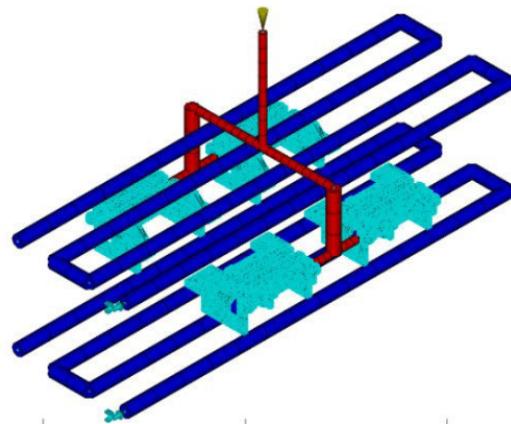


Figure 2. Finite element model diagram

Taguchi Test Design. In the injection molding process, the influence of various process parameters on the warpage of the plastic parts is interactive. In this test, five test factors of injection time, injection pressure, holding time, mold temperature and melt temperature were selected. Each factor took five levels. The various factors and levels taken are shown in Table 1.

In order to obtain the relationship between indicators and various factors, the range analysis can be used to find the range and average of different factors at different levels. Figure 3 shows the test results of the mean difference method when the warpage is the experimental index. Test factor significance order: holding time > mold temperature > melt temperature > injection time > injection pressure, consistent with the results obtained by SNR analysis.

Table 1. Orthogonal test table L25 = (5⁶) and simulation results

Thenum ber	Injectionti me (s)	Injection pressure (MPa)	Holdingt ime (s)	Moldtempera ture (°C)	Melttemperat ure (°C)	Target		
						Shrinkage (%)	Warping (mm)	Residualst ress (MPa)
1	1(1)	1(70)	1(10)	1(50)	1(210)	4.381	0.1743	40.00
2	2(2)	2(80)	12	80	2(210)	4.049	0.0950	35.73

...								
24	1	3	5	5	4	3.509	0.0591	35.84
25	2	4	1	5	5	3.997	0.1949	44.73

Figure 4 is a trend diagram of the influence of various factors on the mean value of warpage deformation, can visually observe the effect of changes in factors on indicators. When the dwell time increases, the amount of warpage is significantly reduced.

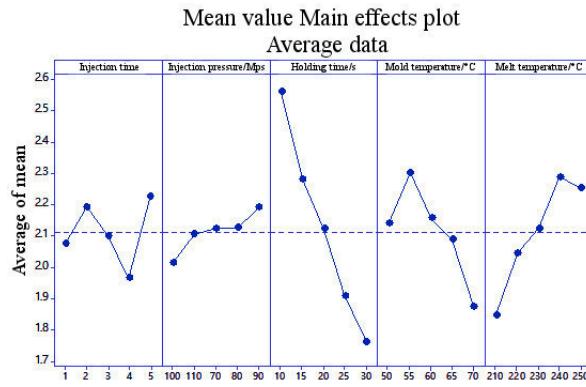


Figure 3. Analysis of the range difference of warping deformation by various factors

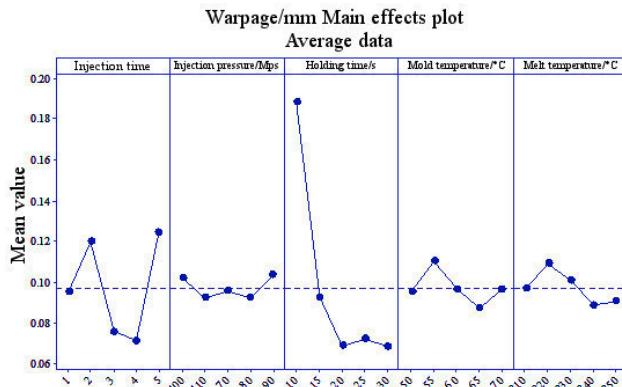


Figure 4. Trend diagram of the influence of various factors on the mean value of warpage deformation

Establishing a regression model. Linear regression can determine statistical methods between two and more than two variables interdependent quantitative relationship. Without knowing the regression equation, select the three-factor interaction effect and obtain the linear regression equation through Minitab.

By simulation, the relationship between the injection molding process parameters and the amount of warpage is obtained. On the basis of orthogonal analysis and analysis of variance, a linear regression equation is established between the process parameters and the amount of warpage, as shown in Equation, where: y warpage deformation value; x_1 injection time; x_2 injection pressure; x_3 holding time; x_4 mold temperature; x_5 melt temperature.

$$\begin{aligned}
 y = & -3.01 + 3.596x_1 + 0.1334x_2 - 0.0529x_3 + 0.1177x_4 - 0.03631x_5 - 0.06226x_1x_2 \\
 & + 0.03172x_1x_3 - 0.06885x_1x_4 + 0.002857x_1x_5 + 0.000186x_2x_3 \\
 & - 0.001785x_2x_4 - 0.00013x_2x_5 - 0.000516x_3x_4 + 0.000186x_3x_5 \\
 & + 0.000379x_4x_5 + 0.001857x_1^2x_2 - 0.002584x_1^2x_3 + 0.003569x_1^2x_4 \\
 & - 0.001407x_1^2x_5 + 0.000036x_1x_2^2 - 0.000197x_1x_2x_3 + 0.000543x_1x_2x_4 \\
 & + 0.000095x_1x_2x_5
 \end{aligned}$$

Genetic algorithm search for optimal process parameters. Genetic algorithm is an algorithm for simulating the optimal solution of process search by simulating the genetic mechanism of nature and biological evolution theory. With the help of MATLAB software, write genetic algorithm program. As shown in Figure 5, after 215 iterations, the optimal parameters: injection time 1s, injection pressure 70 MPa, holding time 30 s, mold temperature 50 °C, melt temperature 250°C. The Moldflow software is used again to perform CAE analysis on the algorithm optimization combination.

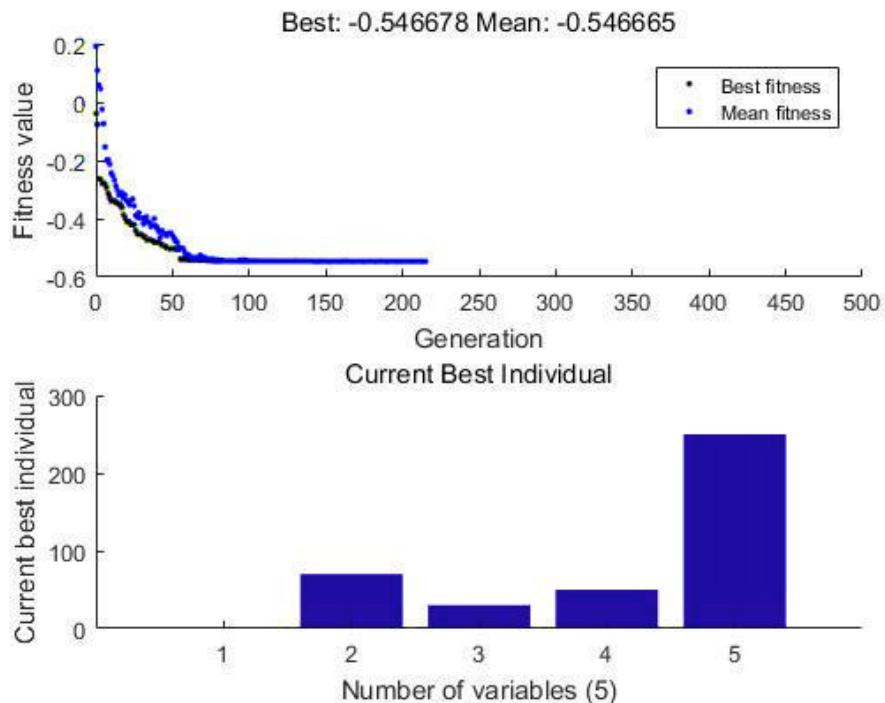


Figure 5. Genetic algorithm optimization map

Summary.

1. The object of this paper is the mode switching, multi-factor level analysis of Moldflow results using the Taguchi method, under test conditions, the degree of influence factor on the amount of warpage is: holding time > mold temperature > melt temperature > injection time > injection pressure.

2. The results of Moldflow are used for regression analysis and a regression model is established. The genetic algorithm is used to algorithmize the model, and finally the optimal parameters are: injection time 1s, injection pressure 70 MPa, holding time 30 s, mold temperature 50 °C, melt temperature 250 °C.

3. Perform CAE analysis on the optimal combination of parameters obtained by the algorithm, and compare the analysis results with the system recommended process parameters, optimized warpage of 0.0555 mm, less than the amount of warpage under the conditions of the original process parameters 0.0972 mm, achieved the purpose of optimization.

LITERATURE:

1. Z.J. Guan and J. Lu: Engineering Plastics Application, 38 (2010), p. 36-38.
2. M.C. Huang and C.C. Tai: J. Mater. Process. Tech., 110 (2001), p.1-9.
3. Zhao, R.N., Fan, X.Y. Parameter design for injection molding process of terminal box based on taguchi method and moldflow[C]. 4th International Workshop on Materials Engineering and Computer Sciences (IWMECS), 2019, 556-559.

УДАРНЫЙ СТЕНД С ПОВЫШЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Введение. Для повышения качества вновь разрабатываемых различных промышленных изделий, приборов и устройств, работающих в экстремальных условиях, для снижения их себестоимости и сокращения сроков разработки, необходима замена натурных испытаний лабораторными испытаниями. Экстремальными воздействиями могут быть ударные нагрузки, вибрационные, инерционные, климатические и их комбинации.

Ударным и вибрационным воздействиям подвергается большинство изделий промышленного производства. Поэтому, для определения максимально возможного воздействия ударной нагрузки без нарушения свойств объекта необходимо проводить испытания на ударном оборудовании. Такие испытания могут быть критерием качества изделий или критерием качества технологического процесса изготовления продукции. При этом сами изделия в процессе их эксплуатации значительным ударным нагрузкам могут и не подвергаться [1].

Целью работы является разработка схемы испытательного горизонтального ударного стенда с повышенными энергетическими характеристиками.

Актуальность. Проведение испытаний на удар необходимо при создании большей части современной электроники, особенно если она производится для использования в экстремальных условиях (авиаприборы, аппаратура, используемая при бурении). Расширение возможностей ударных стендов повысит надежность приборов, а следовательно, сделает работу людей более безопасной.

Принцип действия ударного стендса заключается в накоплении необходимой энергии тем или иным способом (для горизонтальных растяжением пружин, резиновых строп, сжатием воздуха или поднятием маятника) и высвобождении ее посредством короткого удара [2]. Нужной формы ударного импульса добиваются применением формообразующего устройства, устанавливаемого либо на столе ударного стендса, либо на наковальне [3], [4]. Таким образом могут быть получены импульсы любой из трех типовых форм: пилообразный (треугольный), трапецидальный (колоколообразный) и полусинусоидальный (ГОСТ Р 51371-99, ГОСТ 28215-89). Каждый вид импульса имеет свои преимущества для испытаний, например трапецидальный наиболее опасен для тестируемых изделий, а полусинусоидальный проще всего сформировать.

Горизонтальные ударные стенды, как правило, предназначены для испытаний крупногабаритных объектов или в том случае, когда ударный импульс по условиям эксплуатации изделий должен прикладываться исключительно в горизонтальной плоскости перпендикулярно действию силы тяжести.

Наиболее широкими возможностями по разгону наковальни обладают ударные стенды, использующие энергию сжатого воздуха, то есть пневматические. При конструировании пневматического ударного стендса главной проблемой является пропускная способность клапана и скорость его открытия – эти два параметра влияют на то, насколько эффективно используется энергия, запасенная в ресивере. В связи с этим является целесообразной разработка пневматического ударного стендса с применением пневматических быстродействующих клапанов на основе Speed value technology.

При проектировании ударного стендса с повышенными энергетическими характеристиками можно использовать быстродействующий клапан серии КБ, разработанный ООО «НПП «ИСТА», с диаметром проходного сечения 40 и более мм и

временем открытия клапана не более 3 мс, что заметно может улучшить его характеристики по сравнению с существующими горизонтальными стендами.

Тогда как стенды, производимые на данный момент, разгоняют боек до 7-8 метров в секунду (Например, пневматический горизонтальный ударный стенд модели HSRS800 фирмы ETSSolutions), то стенд с применением быстродействующего клапана позволяет получить скорость до 15-20 метров в секунду при аналогичных габаритах.

Принципиальная схема горизонтального ударного стенда с повышенными энергетическими характеристиками представлена на рисунке 1.

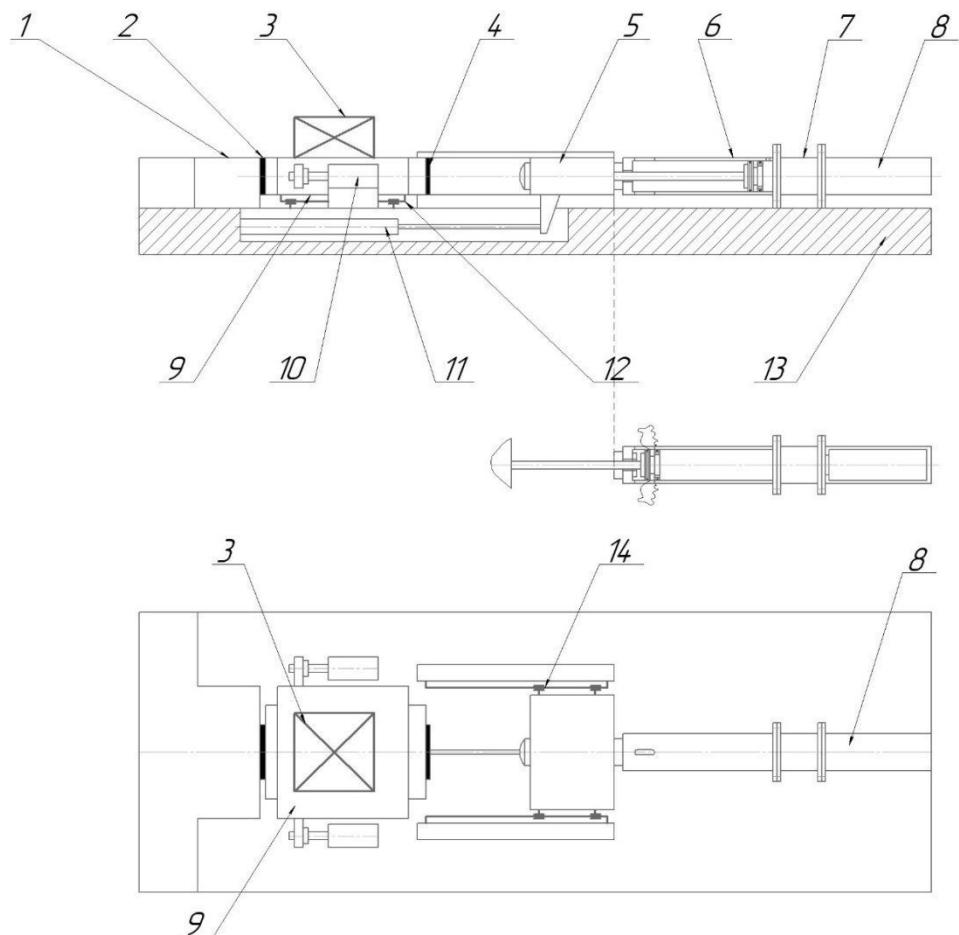


Рисунок 1. Схема горизонтального ударного стенда с повышенными энергетическими характеристиками

1 – наковальня, 2 – прокладки, 3 – объект испытаний, 4 – прокладки, 5 – боек, 6 – разгонный цилиндр, 7 – быстродействующий клапан, 8 – ресивер, 9 – стол приборный, 10 – цилиндр установки стола, 11 – цилиндр возврата бойка, 12 – направляющие стола, 13 – станина, 14 – направляющие бойка

Наковальня 1 с прокладками 2 жестко закреплена на станине 13. Помимо наковальни и прокладок 2 для формирования ударного импульса используются так же прокладки 4, находящиеся на противоположной от наковальни стороне стола 9. Регулировка положения стола 9 производится при помощи пневмоцилиндров 10, стол движется по направляющим 12.

Объект испытаний 3 устанавливается на стол 9, далее в ресивер 8 накачивается воздух, после чего срабатывает быстродействующий клапан 7. Это вызывает выдвижение штока

разгонного цилиндра 6, который толкает боек 5, движущийся по направляющим 14 и бьет по прокладке 4, создавая ударный импульс, передающийся объекту испытаний 3 через стол 11. Во избежание повторного удара бойка по приборному столу, избыточное давление в разгонном цилиндре сбрасывается в атмосферу через специальные отверстия в его гильзе. Далее боек 5, при помощи цилиндра возврата бойка 11, возвращается по направляющим 14 в изначальное положение.

Выводы. С применением быстродействующих клапанов можно создать ударный стенд обладающий теми же габаритами и энергоемкостью, что и существующие горизонтальные ударные стенды, но при этом способный воспроизводить более широкий спектр ударных импульсов, что делает его более эффективным.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Попов А.Н. Испытательные машины / А.Н. Попов, М.Н. Полищук, Ал.Н. Тимофеев. – Екатеринбург, Уральский рабочий, 2017. – 217 с.
2. Тимофеев А.Н., Попов А.Н., Полищук М.Н. Ударный стенд свободного падения // Современное машиностроение. Наука и образование. №3. С.247-254.
3. ГОСТ Р В 20.57.305-98 Комплексная система контроля качества. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование. Методы испытаний на воздействие механических факторов.
4. ГОСТ Р ИСО 8568-2010 Стенды ударные. Заявление и подтверждение характеристик.

СЕКЦИЯ «КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

УДК 658.58

Е.С. Кочкин, М.Х. Седлер, М.С. Кокорин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОТРАСС

Расширение городов и увеличение количества их населения ставит перед администрацией и управляющими компаниями задачу повышения эффективности расходования ресурсов города. Эта задача определяет необходимость оперативного мониторинга ситуации на объектах ЖКХ, введения точного учета расходования ресурсов, осуществления управления в режиме реального времени. На помощь решению данной задачи приходит концепция «Умного города». Основой концепции «Умного города» является сбор информации о ситуации в городе на основе измерительных приборов, датчиков, камер, средств связи и систем хранения данных. Одним из примеров внедрения «Умного города» в Санкт-Петербурге, является удаленная диспетчерская теплосетей [1]. Для обеспечения надежной и экономичной эксплуатации ресурсов теплотрасс, необходимо своевременно проводить диагностику целостности труб, что является весьма объемной задачей. Внедрение систем дистанционного контроля состояния трубопроводов позволяет значительно облегчить решение данной задачи.

На рисунке 1 изображена разработанная схема удаленного мониторинга теплопровода.

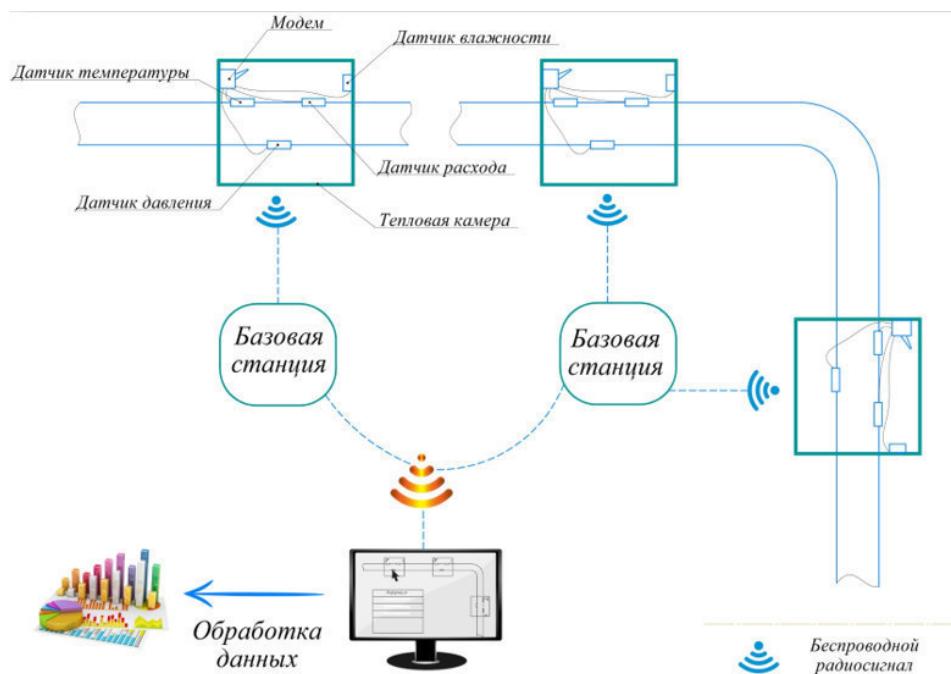


Рисунок 1. Схема удаленного мониторинга теплопровода

Для получения основной информации о состоянии теплопровода используется тепловая камера. Тепловая камера это заглубленное железобетонное сооружение с фланцевыми соединениями труб, арматурой для размещения и обслуживания стыков, задвижек и другого

оборудования теплотрасс. В тепловой камере размещаются модем, обеспечивающий передачу информации, датчики температуры, влажности, расхода воды и давления воды в трубе. Собранные сведения передаются на базовую станцию, а от нее через Интернет в диспетчерскую. Для построения сети передачи данных была выбрана технология энергоэффективной сети дальнего радиуса действия LoRaWAN (LongRangewideareanetworks) [2]. Схема передачи LoRaWAN данных представлена на рисунке 2.

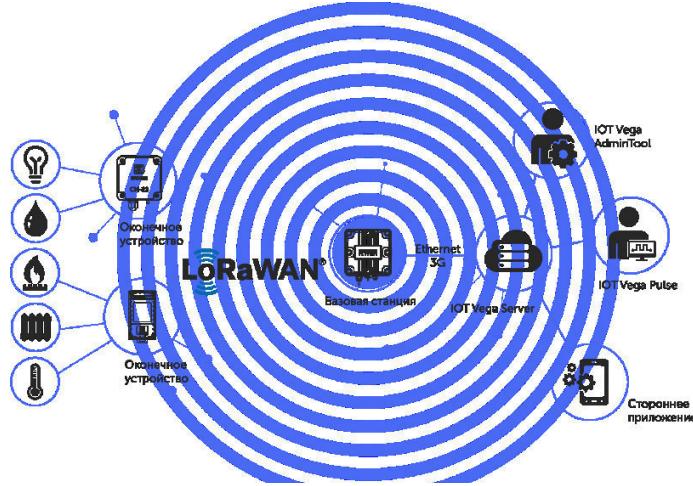


Рисунок 2. Схема передачи данных LoRaWAN

В основе принципа передачи данных по технологии LoRaWAN на физическом уровне лежит свойство радиосистем — увеличение дальности связи при уменьшении скорости передачи. LoRaWAN-сеть использует топологию «звезда», где каждое устройство взаимодействует с базовой станцией напрямую. Сети городского или регионального масштаба строятся с использованием конфигурации «звезда из звезд».

Для реализации данной сети была выбрана продукция компании «Вега-Абсолют». Данная фирма предоставляет готовые решения, начиная от датчиков и базовых станций и заканчивая бесплатным серверным решением для их потребителей. Сетевой сервер IOT VegaServer предназначен для организации сетей стандарта LoRaWAN любого масштаба, а открытый API, основанный на технологии WebSocket позволяет подключать к IOTVegaServer внешние программное обеспечение [3]. Данная возможность позволяет нам создать программное обеспечение, которое будет получать данные с датчиков в режиме реального времени и своевременно анализировать состояние теплопровода.

На основании опыта эксплуатации был выделен перечень параметров, значения которых будут использованы для прогнозирования аварийных ситуаций и оценки энергоэффективности теплотрасс с помощью программного обеспечения: давление воды в трубопроводе, расход воды в трубопроводе, температура воды, влажность воздуха.

В состав программного обеспечения входит база данных, содержащая информацию, полученную с датчиков и клиентское приложение анализирующие их. База данных представляет из себя набор таблиц, представленный на рисунке 3.

Благодаря хранению информации в базе данных нам предоставляется возможность для анализа показаний датчика не только на текущий момент, но и за месяц или год его работы. А также возможность для их визуализации. Результатом работы приложения является анализ накопленных данных и формирование списка рекомендаций. Например, при обнаружении разности давлений в соседних тепловых камерах или разность расходов воды можно судить о произошедшей утечке воды на участке и необходимости его перекрытия. Или оценивать разность температур воды между соседними камерами для контроля теплоизоляции на

участке. А влажность воздуха внутри тепловой камеры позволяет судить об утечках через фланцевые соединения.

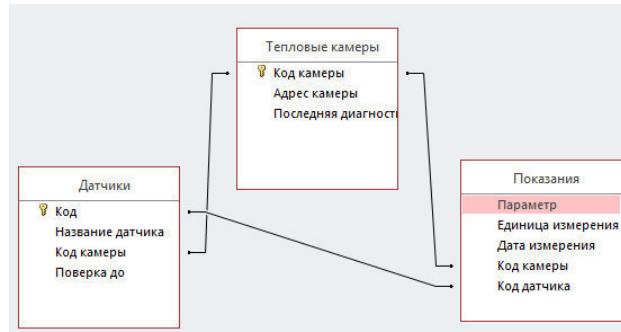


Рисунок 3. Схема связей таблиц базы данных

Интерфейс приложения, изображенный на рисунке 4, состоит из бокового меню, предлагающего выбрать тепловую камеру и основного поля для отображения текущих показателей датчиков. При открытии главной страницы отображается список рекомендаций. Ситуация в каждой камере визуализирована с помощью цвета. Так же присутствует возможность сформировать график за определенное количество времени.

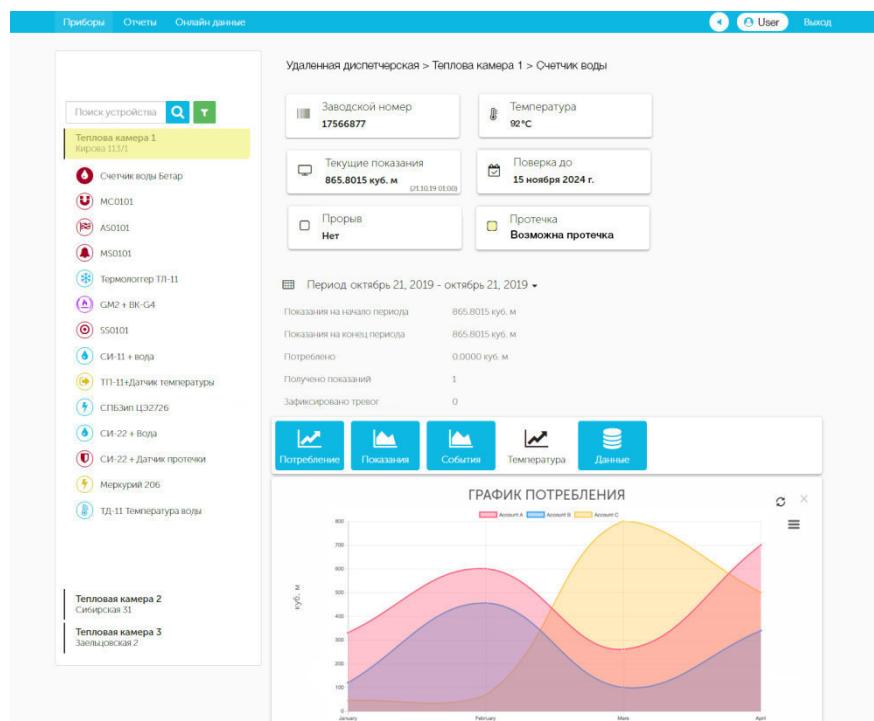


Рисунок 4. Интерфейс приложения

Разработка данного программного обеспечения позволит добиться более эффективного эксплуатирования ресурсов теплотрассы и сократить издержки на их диагностирование путем анализа состояния сети в режиме реального времени.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Седлер М.Х., Карабасов Е.А. Повышение качества контроля труб путем разработки установки автоматизированного ультразвукового контроля. Современное машиностроение. Наука и образование. СПбПУ, 2014
2. Что такое LoRaWan.Хабр. // URL: <https://habr.com/ru/company/nag/blog/371067/>
3. Главная. IOT VEGA. Производитель LoRaWAN устройств URL: <https://iotvega.com/>

УДК 658.512.26

А.М. Паскаренко, М.Х. Седлер, Д.С. Ситкин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СОЗДАНИЕ КОНСТРУКЦИИ БЛОКА ДЛЯ УСТАНОВКИ В ТЕПЛОВЫХ КАМЕРАХ ДАТЧИКОВ И УСТРОЙСТВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

С развитием новых технологий становится возможным собирать информацию о ситуации в городе на основе измерительных приборов, датчиков, камер, средств связи и систем хранения данных, в том числе на объектах энергетики и инженерного обеспечения. Задача повышения эффективности расходования ресурсов, снижения негативного воздействия на окружающую среду определяет необходимость оперативного мониторинга ситуации на объектах ЖКХ, ведения точного учета расходования энергоресурсов, осуществления управления в режиме реального времени, в частности, на трубопроводах горячего водоснабжения.

Для обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводов необходимо оперативно получать информацию о техническом состоянии трубопроводов и параметрах перекачиваемого по ним продукта (температура, давление, расход и др.). В настоящее время такую информацию, в основном, получают с помощью датчиков, установленных в контрольных точках трубопроводов. Информацию получают операторы визуально при обходе трубопроводов. Учитывая большую протяженность трубопроводов, наличие труднодоступных мест, такой способ контроля малоинформативен и низкоэффективен.

Одним из наиболее часто встречающихся и опасных дефектов является коррозия металла, приводящая к утончению стенок, что, в свою очередь, приводит к нарушению прочности трубопровода и, в конечном счете, образованию трещин, свищей, разломов, через которые начинается утечка горячей воды. Этот процесс может развиваться как быстро, так и медленно. Сначала вода медленно сочится через образовавшиеся отверстия, и вокруг трубы под землей образуется все увеличивающийся объем воды, размывается грунт. В какой-то момент вода прорывается сквозь наземное покрытие, и случается авария.

Своевременное обнаружение утечки воды является необходимым для предупреждения подобных аварий. Процесс утечки воды может развиваться быстро, когда время от возникновения дефекта до аварии исчисляется часами, и даже минутами. Поэтому обнаружение мест утечек должно осуществляться максимально оперативно.

Другим дефектом трубопроводов горячего водоснабжения является нарушение теплоизоляции труб. Эти дефекты не приводят к авариям, но снижают энергоэффективность, так как часть тепла используется не по прямому назначению, а уходит наружу, что, в свою очередь, приводит к экономическим потерям.

Учитывая перечисленные дефекты, имеется потребность в точных системах мониторинга трубопроводов для обнаружения утечек, повреждений и других отказов, которые могут привести к серьезным экологическим и экономическим последствиям.

Целью работы является создание конструкции блока с датчиками и устройствами термоэлектрического питания для установки в тепловых камерах трубопроводных систем

теплосети. Актуальность работы обусловлена текущей разработкой проекта «Создание цифрового аналога трубопроводных систем теплосети» [1], который позволяет получать оперативную информацию о состоянии трубопроводов.

Основная информация о состоянии теплопровода получается в тепловой камере — загубленном железобетонном сооружении с фланцевыми соединениями труб, арматурой для размещения и обслуживания стыков, задвижек и другого оборудования теплотрасс. В камере размещаются: счетчик импульсов и конвертеры, обеспечивающие обработку и передачу информации, датчики температуры, расхода воды и давления воды в трубопроводе. Собранные сведения передаются на базовую станцию, а от нее через Интернет в диспетчерскую.

В результате выполнения проекта [1] были выбраны подходящие модели датчиков, которые были испытаны на действующих объектах. Средняя потребляемая мощность устройствами, обеспечивающими реализацию данной технологии, находится в пределах 1 Вт.

Для обеспечения питания датчиков электроэнергией, необходимо использовать автономные системы снабжения. К системам автономного снабжения относятся: генераторы на дизельном топливе или бензине, солнечные батареи, аккумуляторы большого объема, гидроэлектрические системы, преобразователи ветряной энергии, термоэлектрические генераторы [2]. Учитывая условия среды и требования к системе удаленного мониторинга, а именно, небольшое замкнутое пространство тепловой камеры, избыток тепла и отсутствие необходимости регулярного обхода работниками инспекционных служб, подходящим вариантом является установка термоэлектрического генераторного модуля (ТГМ).

ТГМ позволяет преобразовывать тепло в электрическую энергию. В основе ТГМ лежит термоэлектрическое явление, известное в промышленности с середины прошлого века [3]. При условии создания разности температур в местах контакта термоэлектрической пары материалов, возникает термо-ЭДС, обеспечивающая протекание постоянного электрического тока.

Конструкция термоэлектрического генератора (рисунок 1) содержит, как правило, четыре основных узла: источник тепла, теплоприемник, собственно ТГМ, радиатор охлаждения.

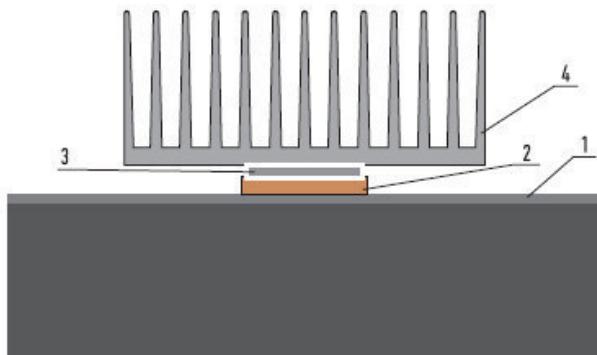


Рисунок 1. Конструкция термоэлектрического генератора

Для обеспечения максимальной надежности конструкции генератора применен конвекционный способ теплообмена с окружающей атмосферой. Альтернативой является применение увеличивающих интенсивность теплообмена вентиляторов, однако надежность конструкции из-за установки вращающихся и относительно быстро изнашивающихся деталей получается на порядок хуже. Одним из оптимальных ТГМ можно считать ТГМ-199-1,4-3,5 [4].

Несмотря на низкий КПД, производимой энергии около 5 Вт достаточно для питания маломощных датчиков. В наихудших условиях опытной эксплуатации генератора с таким ТГМ отдаваемая в нагрузку мощность составляет 0,5 Вт. Применение двух генераторов позволит решить задачу энергообеспечения.

Для создания конструкции блока с датчиками и устройствами для установки в тепловых камерах необходимо учитывать: размеры тепловой камеры, требования к установке каждого датчика, возможности крепления устройств и условия среды тепловой камеры. ТГМ необходимо устанавливать непосредственно на трубу горячего водоснабжения для возникновения разности температур между материалами. Чем больше будет разность, тем больше будет производимой электроэнергии.

На рисунке 2 представлена разработанная конструкция блока для монтажа непосредственно в трубопровод, проходящий в тепловой камере. Конструкция имеет вид трубы длиной 600 мм и диаметром 300 мм с двумя отверстиями для установки датчиков давления и температуры. На блок устанавливаются восемь ТГМ, по четыре устройства с двух сторон трубы для обеспечения бесперебойного электропитания датчиков и остальных устройств. Также к конструкции присоединяется ультразвуковой расходомер. Датчики подсоединяются к ТГМ с помощью кабелей.

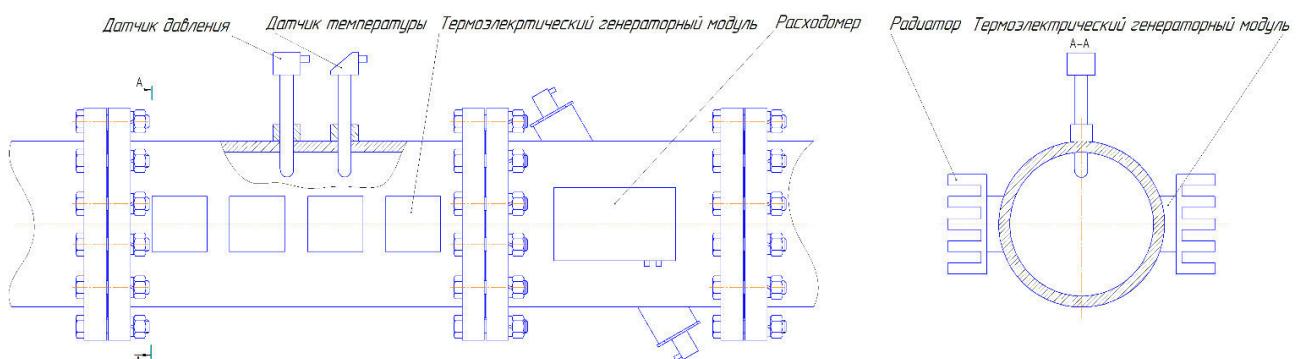


Рисунок 2. Разработанная конструкция блока

Для обработки и передачи информации с датчиков на базовую станцию, в тепловой камере устанавливаются конверторы и счетчик импульсов.

Созданная конструкция блока для установки в тепловых камерах датчиков и устройств термоэлектрического питания является частью системы удаленного мониторинга, внедрение которой дает возможность обнаруживать утечки, механические повреждения в трубопроводе, оценивать состояние трубопровода и обеспечивать безопасность и целостность терминала и трубопроводов. Оперативное обнаружение дефектов трубопроводов горячего водоснабжения является важнейшей задачей при их эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. М.Х. Седлер., П.Г. Шостаковский. Удаленная диспетчеризация теплосетей в «умном городе»// ControlEngineering Россия. 2019. № 1;
2. О.В. Григораш, Н.И. Богатырев, Н.Н. Курзин. Системы автономного электроснабжения.Изд-во: Краснодар, 2001 – 335 с.;
3. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960 – 189 с.;
4. Каталог термоэлектрических модулей компании Экоген Технолоджи - www.ecogentech.ru (дата обращения 10.10.2019).

ПОДГОТОВКА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ К АТТЕСТАЦИИ

Работа была выполнена в рамках производственной практики на примере исследовательского института АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» является одним из ведущих научных центров по проблемам гидротехники и гидроэнергетики [1]. В настоящий момент в институте ведется модернизация лабораторно-производственного комплекса. Процесс модернизации лабораторий включает в себя: 1) проектирование и согласование проекта; 2) оценка объемов проектирования, подбор площадей, оценка требуемых мощностей энергоносителей и т.д.; 3) строительно-монтажные работы; 4) размещение существующего и вновь приобретаемого оборудования; 5) осуществление мероприятий по улучшению процессов с использованием инструментов качества, бережливого производства и автоматизации [2]; 6) успешное прохождение аттестации испытательных лабораторий. Запланированные преобразования направлены на повышение эффективности работ в лабораториях, а также по институту в целом. Руководство института заинтересовано в аттестации испытательных лабораторий для повышения конкурентоспособности института на рынке.

Цель работы – разработка мероприятий по улучшению процессов лаборатории для дальнейшего успешного прохождения аттестации. Для достижения цели поставлены следующие задачи: 1) описать процессы работы лаборатории; 2) изучить требования аттестации; 3) разработать мероприятия по улучшению процессов, несоответствующих требованиям. Подготовка к аттестации поможет обновить подход к ведению рабочей документации, упорядочить процессы в лаборатории, минимизировать потери.

Процесс работы лаборатории (рисунок 1) можно разбить на 3 основные части: *подготовка к испытанию, проведение испытаний, формирование отчета.*

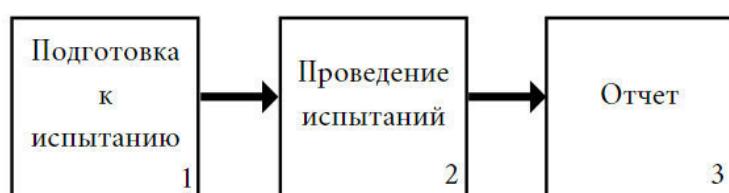


Рисунок 1.Процесс работы лаборатории

Подготовка к испытанию включает в себя:

1) Заключение контракта с заказчиком.

2) Формирование заказчиком технического задания (ТЗ), в котором описано, какие работы должны будут проводиться, приводится, по каким ГОСТам придется работать и т.д.

3) Отбор образцов. Сотрудники лаборатории выезжают на место нахождения объектов, проводят испытания в полевых условиях, проводят отбор проб.

4) Доставка образцов в лаборатории после проведения полевых работ. Осуществляется сотрудниками лично, либо средствами заказчика.

5) В соответствии с ТЗ, путем изучения методик и ГОСТов, научный сотрудник принимает решение о порядке проведения испытаний.

Проведение испытаний в лаборатории проходит следующим образом:

1) Приемка образцов. Тару с образцами вскрывают и делают описание.

2) Запись в журнал. Для ведения рабочих записей используются рукописные журналы. В начале работы с образцами в них записывается текущая дата, дата отбора проб, место отбора, задача – какие испытания необходимо провести.

3) Проведение испытаний. Сначала проводятся типовые испытания. Например, для лаборатории фильтрационных исследований это – измерение массы, влажности, коэффициента фильтрации. Полученные данные записываются в рабочий журнал. Для таблиц типовых испытаний распечатывают шаблон и вписывают значения. Затем данные вносят в таблицы MSExcel, где проводят расчеты. Некоторые виды испытаний в лаборатории проводятся на современном автоматизированном оборудовании. С помощью него показания выгружаются сразу на компьютер, расчеты проводятся автоматически. Для некоторых нетиповых испытаний оборудование и методики могут создаваться экспериментальным путем, в процессе проведения испытания.

4) Верификация результатов. Результаты испытаний просматривает научный сотрудник и подтверждает их достоверность, оперируя своими знаниями. В случае значительного расхождения полученных результатов с предполагаемыми проводятся дополнительные испытания.

5) Валидация. Испытания проводятся повторно в полевых условиях.

После проведения всех испытаний, указанных в ТЗ, и получения достоверных результатов, *формируется отчет* для заказчика.

Аттестация испытательных лабораторий осуществляется в рамках обновленного стандарта ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» [3].

Требования данного стандарта во многом ссылаются на требования ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [4]. Институт имеет сертификат системы менеджмента качества, следовательно, большинство требований известны и уже выполняются на данный момент.

Однако ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019 содержит дополнительные требования, отличные от ГОСТ Р ИСО 9001-2015. В стандарте приводятся требования к поддержанию чистоты и порядка, а также разграничению зон, в которых проводится несовместимая работа. Также в стандарте сказано, что лаборатория должна иметь четкую систему идентификации объектов. Данная система должна обеспечивать, что объекты не будут перепутаны физически или при ссылке на них в записях или других документах. Помимо этого в ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019 описаны специальные требования к представлению результатов по отбору образцов. Отчеты должны включать дату отбора образцов, уникальную идентификацию образца, место отбора образцов и др. При работе в лаборатории было выявлено, что вышеперечисленные требования стандарта не соблюдаются. Также в лаборатории отсутствует собственная документация по системе менеджмента качества.

На данном этапе подготовки лаборатории к аттестации, с учетом проведения в помещениях лаборатории строительно-монтажных работ, было принято решение автоматизировать процесс идентификации, учета и прослеживаемости образцов. Решено создать единую базу данных для регистрации новых договоров и новых образцов с привязкой образца к номеру договора. Для зарегистрированных образцов при подготовке к испытанию будет определяться ГОСТ (методика) по которому будет проводиться испытание.

Для автоматизации процесса идентификации, учета и прослеживаемости образцов была создана база данных MSAccess с таблицами, в которых содержатся: 1) виды испытываемой продукции лаборатории; 2) ГОСТы и методики, с помощью которых проводятся испытания в лаборатории; 3) наименования испытаний, проводимых в лаборатории. Вид испытания привязан к соответствующему ГОСТу с помощью кода, а также к коду испытываемой продукции и пункту ГОСТа.

После создания основных таблиц было разработано автоматизированное приложение, созданное в среде программирования VBA-Excel [5]. Последняя редакция приложения имеет восемь пользовательских форм, которые были реализованы постепенно. Во время разработки велось активное общение с сотрудниками лаборатории. Было сделано множество правок, приложение протестировано на трех компьютерах.

В приложении разработана форма, с помощью которой реализована регистрация нового пользователя и авторизация уже зарегистрированного пользователя. Таким образом поддерживается конфиденциальность вносимой информации. После успешной авторизации открывается форма, с помощью которой можно выбрать одно из трех действий: добавить новый договор, зарегистрировать образцы или сменить пользователя.

Рассмотрим форму регистрации нового договора. Данные договора добавляются в базу, каждому договору присваивается уникальный номер – шифр. После регистрации договора образцам присваивается индивидуальный идентификационный номер. На форме приложения необходимо выбрать шифр договора и ввести количество образцов. Идентификационный номер образца состоит из шифра и порядкового номера образца. С помощью принтера номера можно распечатать из базы данных и наклеить на образец.

На следующей форме пользователь присваивает выбранным образцам ГОСТ или методику, по которым будут проводиться испытания для данных образцов. Из выпадающего списка выбирается ГОСТ (методика) и пункт соответствующий выбранному испытанию. При просмотре пунктов ГОСТа в текстовом поле отображается информация о содержании пункта и виде испытания, привязанного к данному пункту. Итог работы приложения: образцу присвоен индивидуальный номер, по которому можно определить номер и объект договора, ГОСТ (методику) для проведения испытаний, дату начала испытания, ФИО пользователя, проводившего испытания.

В дальнейшем планируется продолжить разработку приложения – внедрить заполнение электронной формы протокола, выгрузку данных в отчет заказчика, установку специального принтера и маркировку образцов с помощью водонепроницаемых наклеек.

При выполнении работы было разработано автоматизированное приложение для идентификации, учета и прослеживаемости образцов. Решены следующие задачи: изучены и описаны процессы работы лаборатории, изучены требования аттестации, разработаны мероприятия по улучшению процессов.

Созданное автоматизированное приложение входит в комплекс мероприятий, направленных на получение аттестации испытательной лабораторией исследовательского института АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Электронный ресурс, ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева: <http://www.vniig.rushydro.ru/>
2. Электронный ресурс, Metler Toledo: https://www.mt.com/ru/ru/home/library/guides/laboratory-division/1/lean_lab_guide.html
3. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
4. ГОСТ ИСО 9001:2015 Системы менеджмента качества. Требования.
5. Гарбер Г.З. Основы программирования на VisualBasic и VBA в Excel 2007. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. –192 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ,
УЧИТЫВАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ,
ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ**

В условиях стремительно разворачивающейся IV промышленной революции новая парадигма цифрового проектирования и моделирования позволяет в кратчайшие сроки разрабатывать и создавать глобально конкурентоспособную продукцию нового поколения [1]. В основе новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования лежит использование сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, конструкциям и физико-механическим процессам (включая технологические и производственные), описываемых уравнениями математической физики, ..., разработка цифровых двойников как продукции, так и ее производства [2].

Цифровым двойником объекта/продукта (DigitalTwin, DT-1) называют/считают высокоадекватную математическую («умную») модель, которая агрегирует в себе все знания, применяющиеся при проектировании, производстве и эксплуатации изделия, продукта, конструкции, машины, установки и др. «Умная» модель позволяет значительно «приблизиться» к реальному объекту – обеспечивает отличие между результатами виртуальных и натурных испытаний в пределах $\pm 5\%$ [2].

Создание цифровых двойников позволяет перейти от чрезвычайно дорогостоящих натурных испытаний к менее затратным виртуальным испытаниям, а также запустить продукт в серийное производство и эксплуатацию без изготовления опытных образцов (возможность запуска зависит от сложности и ответственности изделия/конструкции/механизма). Данный переход актуален для высокотехнологичных предприятий из различных отраслей промышленности (автомобилестроение, судо- и кораблестроение, авиа- и вертолетостроение, приборостроение и др.), в т.ч. для предприятий, находящихся в процессе цифровизации своего производства.

Геометрические (CAD) полномасштабные модели являются частью агрегирования математической или «умной» модели [2]. Одновременно с этим, разрабатываемые 3D-модели на большинстве предприятий/конструкторских бюро остаются недоработанными (недостоверными) [3]. Применение подобных 3D-моделей приводит к тому, что результаты формирования цифровых двойников обладают низкой адекватностью реальному объекту и существенно влияют на значение отличий проводимых виртуальных испытаний от натурных (более $\pm 5\%$).

Цель работы: повышение адекватности цифрового двойника путем применения на начальном этапе процесса его создания методики трехмерного моделирования, учитывающей технологический способ изготовления изделия [3] (далее – методика) с целью увеличения «приближения» к реальному объекту и снижения отличия между результатами виртуальных и натурных испытаний.

Согласно [3], методика позволяет разрабатывать достоверные 3D-модели изделий с учетом технологии (особенности) их изготовления. Применение методики на начальном этапе (3D-моделирование) процесса создания цифрового двойника повысит достоверность трехмерных геометрических моделей, используемых на следующих этапах (рисунок 1).

Как из видно рисунка 1, с увеличением адекватности происходит приближение физических моделей на $\Delta\Phi_1, \dots, \Delta\Phi_{цд}$, математических моделей на $\Delta M_1, \dots, \Delta M_{цд}$ и цифрового двойника на $D = \Delta ЦД - \Delta ЦД'$ к реальному объекту.

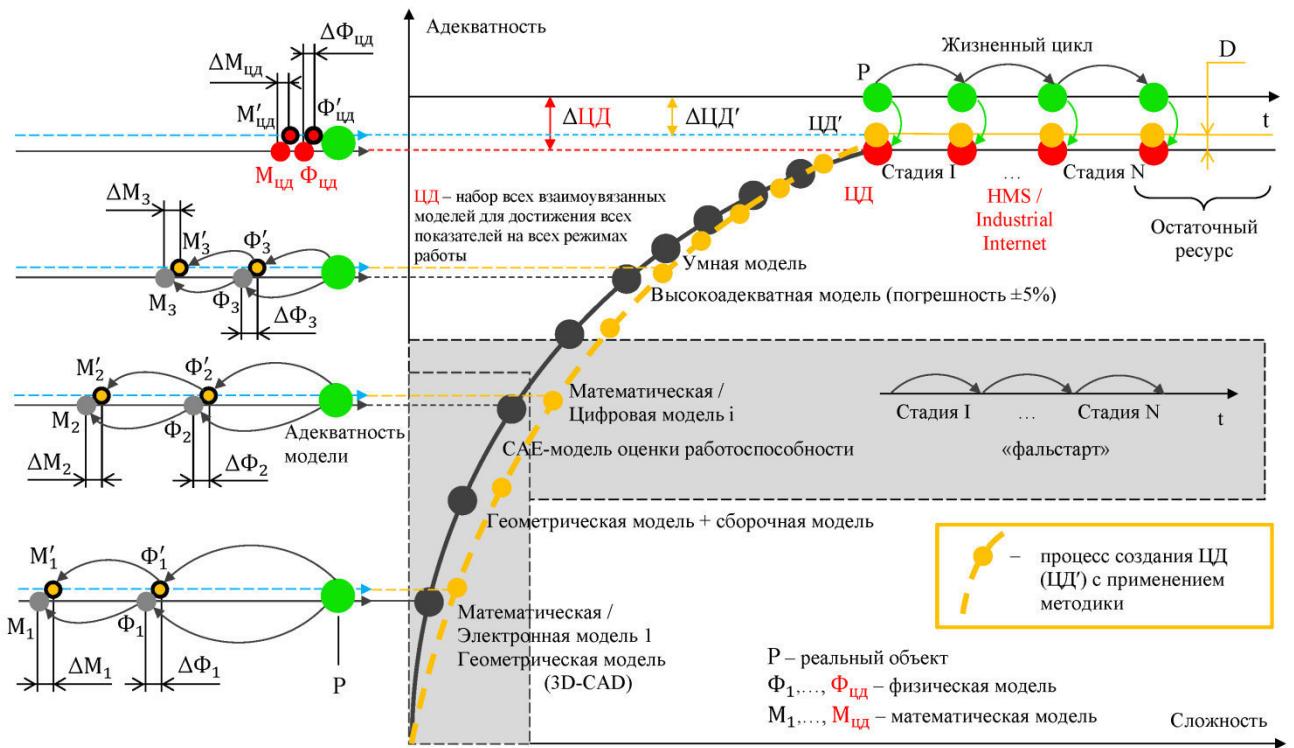


Рисунок 1. Традиционный и современный подход к построению физических и математических моделей [2, с. 20, рисунок 9] (совмещено с процессом создания цифрового двойника с применением методики)

Стоит отметить, что повышение достоверности 3D-моделей помимо увеличения уровня адекватности влечет за собой увеличение уровня сложности выполнения процессов на каждом этапе создания цифрового двойника.

Также, существует возможность создания цифровых двойников производства. Цифровым двойником производства (DT-2) называют высокоадекватную «умную» модель с учетом особенностей конкретного производства, в которую большой вклад в адекватность вносят данные о технологиях изготовления (например, «интеллектуальное» литье, «интеллектуальная» штамповка, учет предварительного напряженно-деформированного состояния и утонения, коробления и т.д. деталей после технологических процессов). Объединение DT-1 и DT-2 в рамках единой цифровой модели на основе выполнения десятков тысяч виртуальных испытаний в процессе специальным образом организованной «цифровой сертификации» ведет к формированию «умного» цифрового двойника первого уровня (SmartDigitalTwin, SDT-1). Далее при внесении необходимых изменений в SDT-1 (благодаря SmartBigData) происходит его трансформация в «умный» цифровой двойник второго уровня (SDT-2) [2].

Так как «умный» цифровой двойник формируется за счет объединения цифрового двойника объекта DT-1 и цифрового двойника производства DT-2, применение методики в процессе создания DT-1 повысит его адекватность реальному объекту, следовательно, уровни адекватности SDT-1' и SDT-2' будут выше, чем у SDT-1 и SDT-2 соответственно (рисунок 2).

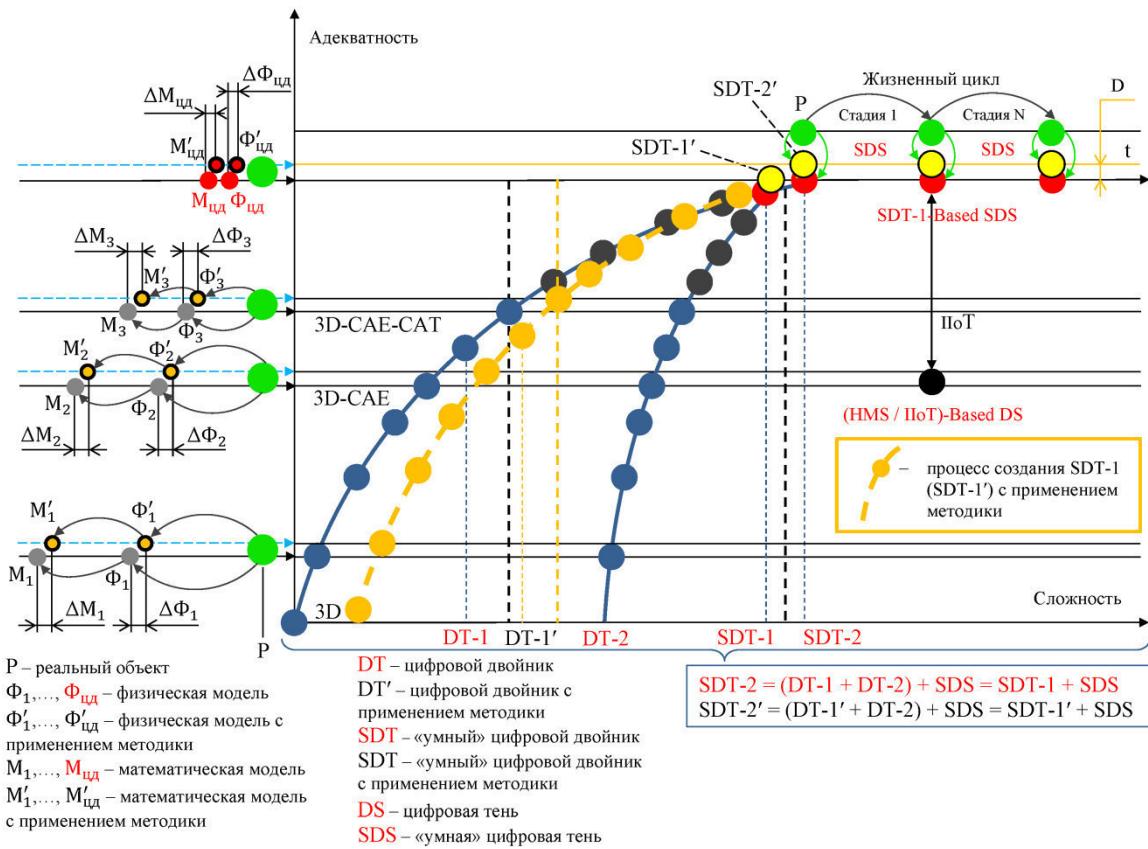


Рисунок 2. Семейство физических и математических моделей. Цифровой двойник, «умный» цифровой двойник, цифровая тень [2, с. 21, рисунок 10] (совмещено с процессом создания цифрового двойника с применением методики)

В настоящее время, помимо применения при расчетах в САЕ-системах недостоверных/недоработанных 3D-моделей, также производят всевозможные упрощения этих моделей (удаление формообразующих конструктивных элементов, дробление на несколько частей и т.д.), в связи с недостаточной вычислительной мощностью компьютеров (производительностью компьютеров). С непрекращающимся развитием и совершенствованием компьютерных технологий в ближайшем будущем подобные упрощения 3D-моделей, безусловно, не потребуются. Применение достоверных 3D-моделей существенно увеличит адекватность результатов расчетов . Чем выше будет адекватность цифрового двойника реальному объекту, тем уже (менее $\pm 5\%$) пределы отличия результатов виртуальных испытаний от натурных, что существенно сократит затраты на их проведение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Цифровое производство: методы, экосистемы, технологии / А.И. Боровков [и др.] // Рабочий доклад департамента корпоративного обучения Московской школы управления СКОЛКОВО. – 2018. – Гл. 2. – С. 24-45.
2. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК / А.И. Боровков [и др.] // Оборонная техника. – 2018. – №1. – С. 6-33.
3. Методика трехмерного моделирования, учитывающая технологический способ изготовления изделия / Р.Р. Гайсин [и др.] // Неделя науки СПбГПУ: материалы научной конференции с международным участием, 19-24 ноября 2018 г. Институт metallургии, машиностроения и транспорта. Ч. 2. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. – Секция «Технология машиностроения». - С. 319-322.

РАЗРАБОТКА ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА КОМПЛЕКСА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СОРТИРОВКИ ОТХОДОВ

Одной из стадий процесса проектирования и разработки является научно-исследовательская и опытно-конструкторская работы (НИОКР).

Результат выполненной НИР [1] – техническое задание на комплекс роботизированной сортировки отходов. Следующий этап выполняемой в настоящее время НИОКР – это изготовление и проведение испытаний опытного образца.

Целью работы является разработка, изготовление и проведение испытаний опытного образца комплекса роботизированной сортировки отходов.

Задачами работы являются:

- разработка конструкторской и технологической документации;
- создание программного обеспечения;
- изготовление (закупка комплектующих изделий и материалов, сборка);
- проведение испытаний (в различных условиях и с изменением параметров, устанавливаемых при сортировке);
- обработка результатов испытаний (корректировка конструкции и программного обеспечения с целью повышения качества работы комплекса).

В соответствии с техническим заданием [1] в состав опытного образца (рисунок 1) входят следующие элементы:

- конвейер для подачи мусорных фрагментов;
- контейнеры для хранения отсортированного мусора;
- механическая часть сортировочного модуля (состоит из направляющих, каретки и схвата);
- система машинного зрения (компоненты: камера, оптика, свет, вычислитель) [2];
- программное обеспечение для распознавания отходов.

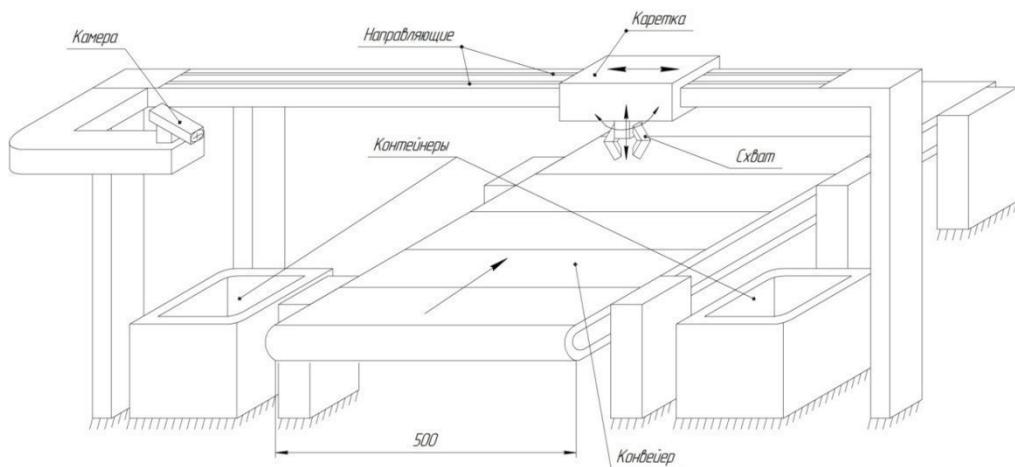


Рисунок 1. Эскиз опытного образца комплекса роботизированной сортировки отходов

Комплекс состоит из модуля перемещения отходов и сортировочного модуля, в состав которого входит механическая часть (захват отходов и удаление их с конвейера) и система

машинного зрения (распознавание отходов). Так как задачи, решаемые системой машинного зрения, имеют высокую сложность и трудоёмкость, на данном этапе принято решение о разработке программного обеспечения только для одного вида отходов – пластмассовых бутылок. При разработке необходимо учитывать, что вероятность предварительной сортировки и "подготовки" отходов (очищение от загрязнений и др.) перед их поступлением на сортировочную линию – минимальна (в нашей стране раздельный сбор мусора осуществляется крайне редко). Бутылки могут поступить на конвейер с этикетками, с крышками и без крышек, с трещинами, деформированные, с неизвестным содержимым, загрязненные и т.д. Отличие от первоначального вида существенно увеличивает объём работ при создании программного обеспечения, ведь одной из задач является наполнение базы данных образов отходов различными вариантами (их внешний вид, ориентация на конвейере и др.).

После сборки образца проводятся различные испытания. Основная характеристика комплекса – процент распознаваемости отходов. Для достижения требуемого процента испытания будут проводиться при различных параметрах; будут отслеживаться возможные ошибки, возникающие после внесения каких-либо изменений. Изменению, в том числе, подлежит и процент распознаваемости. Это необходимо для получения массива данных и дальнейшего анализа процесса.

К параметрам комплекса (изменяемым) относятся: скорость движения конвейера, скорость перемещения каретки, скорость выдвижения схвата, особенности конструкции узлов комплекса. Ожидаемые ошибки: непопадание в контейнер (a , шт.), пропуск фрагментов (b , шт.), ненадежный захват фрагмента (c , шт.). В таблице 1 представлен общий формат записи значений параметров, ошибок.

Таблица 1. Пример таблицы для записи исследуемых ошибок

Параметр: Скорость конвейера, м/мин.	Распознаваемость, %			
	p_1	p_2	...	p_m
v_1	$a_{11}, b_{11}, c_{11},$	a_{12}, b_{12}, c_{12}	...	a_{1m}, b_{1m}, c_{1m}
v_2	a_{21}, b_{21}, c_{21}	a_{22}, b_{22}, c_{22}	...	a_{2m}, b_{2m}, c_{2m}
...
v_n	a_{n1}, b_{n1}, c_{n1}	a_{n2}, b_{n2}, c_{n2}	...	a_{nm}, b_{nm}, c_{nm}

Согласно п.6.5.1 [3] после проведения анализа результатов испытаний опытного образца, при необходимости, производится доработка конструкции комплекса и программного обеспечения для достижения полного соответствия заданным техническим требованиям.

Комплект документации опытного образца будет использован в качестве основы при разработке рабочей конструкторской документации комплекса роботизированной сортировки отходов.

При успешной реализации НИОКР возможно существенное повышение производительности и эффективности работы сортировочных линий, а также качества отходов (выражается их однородностью), поступающих на мусороперерабатывающие заводы либо подвергающихся компостированию.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Е.У. Яхяева, М.Х. Седлер. Автоматизация процесса сортировки мусора // Неделя Науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Институт металлургии, машиностроения и транспорта. Ч.2 – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2018. – с. 125-128.
2. ВиТэк. Системный интегратор в области измерений и автоматики. [Электронный ресурс]. Режим доступа – <https://www.vitec.ru/components/komponenty-sistem-mashinnogo-zreniya/> (Дата обращения: 09.10.2019).
3. ГОСТ Р 15.301-2016. Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. – Взамен ГОСТ Р 15.201-2000; введ. 2017-07-01. – Москва: ФГУП "Стандартинформ", 2016. – 16 с.

УДК 658

М.Н. Тимофеев, С.Я. Пичхидзе
СГТУ имени Гагарина Ю.А.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ МЕТОДАМИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В условиях международного разделения труда одной из отраслей специализации РФ является национальная металлургическая промышленность. Продукция российской металлургии составляет значительную долю в мировом производстве и торговле металлами. За 2017 г. компании ЕВРАЗ, НЛМК, ПАО «Северсталь», ММК, «Металлоинвест» и «Мечел» суммарно произвели 64,7 млн. т стали. Рентабельность ведущих российских металлургических компаний в 2017 г. находилась в интервале от 24 до 34%. На внутреннем рынке высокий уровень спроса в течение года обеспечен ростом спроса со стороны строительной отрасли, а также машиностроительного комплекса. Доля России в мировом производстве стали составляет 4,5 % (5 место в мире). Однако, в России только 5,5% в общем объеме промышленной продукции является инновационной. Таким образом, можно сделать вывод, что выбранная тема является актуальной и посвящена исследованию одной из ключевых задач развития экономики страны, а именно, формированию и реализации стратегии инновационного развития предприятий металлургической отрасли [1].

На основе анализа внешней и внутренней среды выявляется и оценивается инновационная активность предприятия, после оценки которой, формулируются стратегические альтернативы, из которых выбирается наиболее приемлемая стратегия развития. Влияющие на инновационную активность факторы образуют определенную среду и являются границами инновационной активности предприятия. При расчете показателей границ такой активности предприятия используются данные бухгалтерского учета (баланс, отчет о прибылях и убытках, пояснительная записка к бухгалтерской отчетности), управленческого учета (анализ финансово-хозяйственной деятельности предприятия, бюджет доходов и расходов) и статистические данные (рисунок 1).

Показатель инновационного потенциала предприятия отражает долю инвестиционных проектов инновационного характера в общей стоимости всех инвестиционных проектов.

В зависимости от среднего значения темпа роста (по рассчитанным показателям границ инновационной активности) за последние 3 года деятельности предприятия принимались следующие варианты оценки (таблица 1).



Рисунок 1. Схема принятия инновационных решений

Границы инновационной активности определяют принятие инновационных решений, на основе которых формируется и реализуется стратегия инновационного развития предприятия [2-7].

Таблица 1. Оценка инновационной активности предприятия металлургической отрасли

Уровень активности	Критерий оценки (среднее значение темпа роста)	Краткая характеристика
Низкий	Менее 25%	Предприятию не стоит в сложившихся условиях использовать стратегию инновационного развития, а ограничиться стратегией стабильности
Средний	25-50%	Предприятию следует ориентироваться на разработку и внедрение улучшающей продукции или технологии
Высокий	50-75%	Стратегия лидера, либо последователя в зависимости от ситуации в отрасли и возможностей предприятия
Очень высокий	Более 75%	Предприятию не следует отвлекать средства на инвестирование в улучшающие технологии, потому что в долгосрочной перспективе наиболее эффективными являются вложения в сектор принципиально новой продукции, услуг или технологий

Создание элемента системы поддержки принятия решений на базе системы нечеткого логического вывода типа Мамдани

Вышеописанный механизм трудно применить в практической деятельности, в связи с тем, что большинство исходных данных разбросаны по разным базам данных. Например, доля материальных ресурсов предприятия, используемых для НИОКР, частично проходит по 01 счёту “Основные средства”, 1С:Бухгалтерия, персонал учитывается в программе 1С:Зарплата Кадры. Можно написать обработку для выгрузки из базы данных необходимых сведений, но в этом случае будут получены сырье данные, которые предстоит обработать. Для обработки данных была построена система нечёткого вывода на базе алгоритма Мамдани. Для реализации системы нечеткого вывода использованы следующие переменные:

- ДП_{ниокр} - доля персонала, занятого в научно-исследовательских и опытно-

конструкторских работах;

- $УO_{ит}$ - уровень освоения новой техники;
- НП - степень освоения новой продукции;
- $ДМР_{ниокр}$, - доля материальных ресурсов предприятия в НИОКР;
- $O_{ис}$, - степень обеспеченности предприятия интеллектуальной собственностью.

Указанные переменные выступают в качестве входных лингвистических переменных (ЛП) системы нечеткого вывода. В качестве выходной ЛП выступает коэффициент оценки инновационной активности предприятия. Каждая ЛП определяется набором терм, определенными нечеткими числами LR-типа (таблица 2).

Разработано программное обеспечение, реализующее описанную методику оценивания.

Таблица 2. Термы ЛП системы нечеткого вывода

Терм	Минимум	Средний	Максимальный
$ДП_{ниокр}$	-0,4; 0; 0,4	0,1; 0,5; 0,9	0,6; 1; 1,4
$УO_{ит}$	-0,4; 0; 0,4	0,1; 0,5; 0,9	0,6; 1; 1,4
НП	-0,4; 0; 0,4	0,1; 0,5; 0,9	0,6; 1; 1,4
$ДМР_{ниокр}$	-0,4; 0; 0,4	0,1; 0,5; 0,9	0,6; 1; 1,4
$O_{ис}$	-0,4; 0; 0,4	0,1; 0,5; 0,9	0,6; 1; 1,4
$O_{ис}$	-0,4; 0; 0,4	0,1; 0,5; 0,9	0,6; 1; 1,4
Инновационная активность	-0,4; 0; 0,4	0,1; 0,5; 0,9	0,6; 1; 1,4

В качестве входных факторов, влияющих на благополучие городских районов, использовались отмеченные факторы в следующих обозначениях: NIOKR, Technic, New_product, Material, Intellectual_property, Potentsial. Выходная переменная (коэффициент оценивания) обозначена – Activity.

Для реализации системы нечеткого вывода для оценивания инновационной активности предприятия сгенерирован набор производственных правил вида:

1. **IF** (NIOKR is hight) **AND** (Technic is hight) **AND** (New_product is hight) **AND** (Material is hight) **AND** (Intellectual property is hight) **AND** (Potentsial is hight) **THEN** (Activity is hight)

2. **IF** (NIOKR is min) **AND** (Technic is min) **AND** (New_product is min) **AND** (Material is min) **AND** (Intellectual property is min) **AND** (Potentsial is min) **THEN** (Activity is min)

3. **IF** (NIOKR is med) **AND** (Technic is med) **AND** (New_product is med) **AND** (Material is med) **AND** (Intellectual_property is med) **AND** (Potentsial is med) **THEN** (Activity is med)

Выходы: представлена модель оценивания, позволяющая выделить значащие факторы, влияющие на инновационную активность предприятия, обработать данные представленные в СУБД и сформировать интегральный оценочный коэффициент. Модель может быть использована как элемент системы поддержки принятия решений и контроля инновационной активности предприятия.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Обзор рынка чёрной металлургии 2018 г. / Делойт [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://ru.investinrussia.com/data/file/Iron_and_steele_industry_report_2018_ru.pdf
2. Колокольцева Е.В. Особенности реализации инновационной стратегии в черной металлургии [Текст] / Колокольцева Е.В.//Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. - 2014.- №3 – С. 66-72.
3. Мельников О.Н. Организация управления инвестиционной деятельностью в металлургическом комплексе [Текст]: автореферат дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / О.Н. Мельников. – Вологда, 2006. – 24 с.
4. Зубояров О.Р. Формирование и реализация стратегии инновационного развития предприятия

- металлургической отрасли [Текст]: автореферат дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / О.Р.Зубояров. – Нижний Новгород, 2013. – 24 с.
5. Артемьев О.Г. Управление инновационной деятельностью высокотехнологических производств [Текст]: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / О.Г. Артемьев. – Курск, 2017. - 167 с.
6. Осташевский С.М. Совершенствование управления инновационной деятельностью предприятий обрабатывающей отрасли [Текст]: автореферат дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / С.М. Осташевский. – Челябинск, 2013 . – 25 с.
7. Полукеева А.В. Развитие системы управления инновационной деятельностью предприятий [Текст]: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / А.В. Полукеева. – Воронеж, 2017 . 156 с.

УДК004.942:66.094.524.52

А.А. Солопова, М.А. Пасюкова, И.М. Долганов, И.О. Долганова, А.А. Бунаев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСХОДА ЛИНЕЙНОГО АЛКИЛБЕНЗОЛА НА ВЫХОД ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА И ДИНАМИКУ НАКОПЛЕНИЯ ВЯЗКОГО КОМПОНЕНТА В ПЛЕНОЧНОМ РЕАКТОРЕ СУЛЬФИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Получение линейной алкилбензолсульфокислоты (АБСК), применяемой для производства синтетических моющих средств является заключительным этапом многостадийной цепочки, включающей процессы дегидрирования линейных алканов, гидрирования полиолефинов и их последующего алкилирования до линейного алкилбензола (ЛАБ), сульфируемого триоксидом серы.

Реактор сульфирования ЛАБ представляет собой вертикальные реакционные трубы, расположенные как в кожухотрубном теплообменнике, с внутренним диаметром 25 мм и длиной 6 метров. Поток смеси газообразного триоксида серы и воздуха пропускается по вертикальной трубе, где одновременно вдоль стенки стекает в виде пленки трубы органическое жидкое сырье. Когда жидкость и газ протекают по трубе, триоксид серы абсорбируется жидкостью и вступает в реакцию с образованием сульфированного продукта.

Сложность и многоступенчатость процесса получения АБСК обуславливают интерес к его оптимизации и прогнозированию, однако специфичность процесса делает невозможным применение с этими целями существующих универсальных систем моделирования.

Разработка компьютерной моделирующей системы процесса сульфирования ЛАБ позволяет прогнозировать влияние различных технологических параметров и состава сырья на объем и качество получаемой продукции.

Разработанная математическая модель процесса включает в себя уравнения материального и теплового баланса. Для учета кинетических параметров вычислена толщина пленки стекающей жидкости и время пребывания реагентов в реакторе с учетом гидродинамического режима течения пленки жидкости. Было установлено, что значение критерия Рейнольдса стекающей пленки, указывает на ламинарное течение с волнистой поверхностью раздела фаз [1]. Толщина пленки в данных условиях $\delta = 0.5$ мм, время контакта, определяемое как отношение объема реакционной зоны к объемному расходу ЛАБ, $\tau = 25$ сек .

Константы скоростей химических реакций были определены на основании экспериментальных данных путем решения обратной кинетической задачи. На рисунке 1 отражена зависимость выхода АБСК от времени контакта.

Образование и накопление сульфонов и тетралинов вследствие протекания побочных реакций приводит к необходимости остановки процесса и промывки реактора водой. При анализе рисунка 1 было сделано предположение о возможности уменьшения времени контакта без изменения качества получаемой продукции, что может привести к снижению концентрации вязкого компонента. Уменьшить время контакта возможно путем изменения конструкции реактора, либо увеличением расхода реагентов.

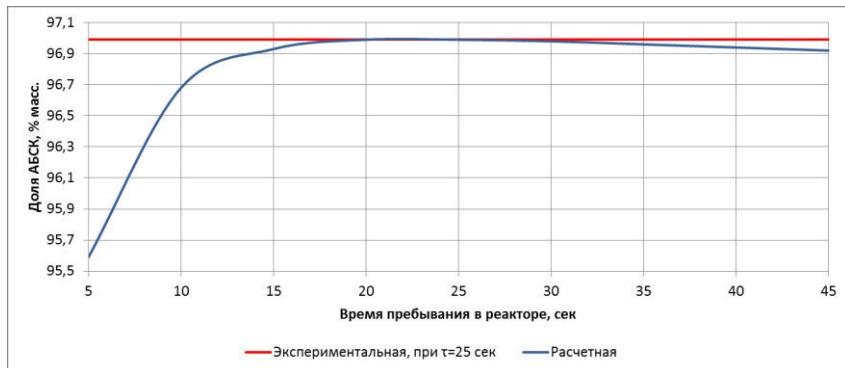


Рисунок 1. Зависимость выхода АБСК от времени контакта

Таким образом, целью настоящей работы является исследование влияния расхода сырья на продолжительность межпромывочных циклов и выход целевого продукта с применением метода математического моделирования.

В таблице 1 приведены результаты расчетов изменения времени контакта, толщины пленки и критерия Рейнольдса от массового расхода жидкости.

Таблица 1. Варьирование расхода ЛАБ

Массовый расход ЛАБ, кг/час	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
Время контакта, сек	27,0	24,7	22,8	21,2	19,9	18,8	17,8
Толщина пленки жидкости, мм	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,69	0,70
Критерий Рейнольдса пленки жидкости	96,0	109,7	123,4	137,2	150,9	164,6	178,3

Для исследования влияния расхода реагентов, производился расчет на разработанной математической модели процесса по одному межпромывочному циклу. На рисунке 2 представлена зависимость выхода целевого продукта от расхода ЛАБ и сравнение с экспериментальными данными, полученными с установки.

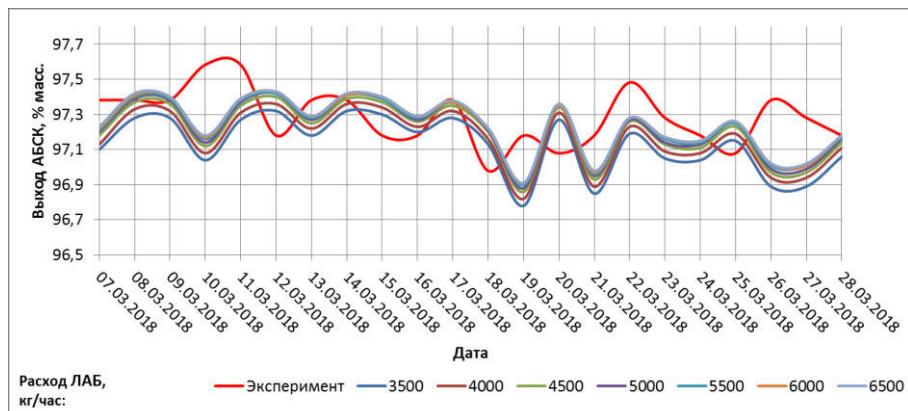


Рисунок 2. Зависимость выхода АБСК от расхода ЛАБ

Увеличение массового расхода ЛАБ ведет к снижению времени контакта без ухудшения качества получаемой продукции. Увеличение толщины пленки ведет к увеличению критерия Рейнольдса, при этом происходит рост диффузии газа в жидкую фазу [2, 3], что способствует снижению накопления высоковязкого компонента, что подтверждается расчетами на модели (рисунок 3).

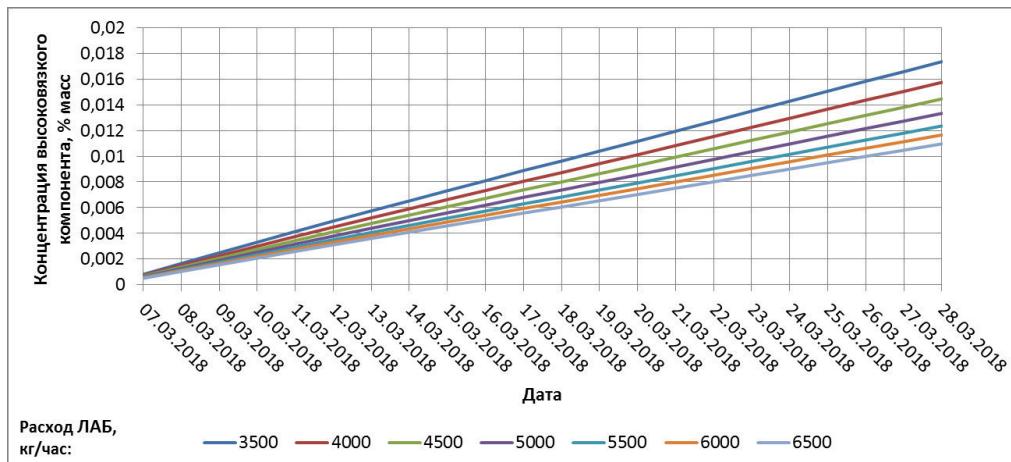


Рисунок 3. Зависимость выхода АБСК от расхода ЛАБ

Увеличение расхода сырья, подаваемого в реактор, ведет к уменьшению времени контакта, вследствие чего снижается концентрация высоковязкого компонента, что позволяет увеличивать продолжительность межпромывочных циклов. При этом выход целевого продукта не снижается.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-38-00487 «Разработка фундаментальных основ повышения ресурсоэффективности отечественной технологии получения линейной алкилбензосульфокислоты – биоразлагаемого поверхностноактивного вещества – на основе прогнозирования активности реакционной среды химически сопряженных стадий смешения и катализа».

ЛИТЕРАТУРА:

- Соколов В.Н., Доманский И.В. Газожидкостные реакторы. Л., «Машиностроение», – 1976. – 216 с.
- Кафаров В.В. Основы массопередачи / В. В. Кафаров. – Москва: Высшая школа, – 1979. – 439 с.
- Иваняков С.В. Гидродинамика аппаратов со свободно стекающей пленкой жидкости: Учебно-методическое пособие / С.В. Иваняков, С.Б. Коныгин, Д.А. Крючков. – Самарский государственный технический университет, Самара, 2007. – 24 с.

УДК 338.28

Я.С. Васильева, М.Х. Седлер, Ю.В. Кожанова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПРОДВИЖЕНИЕ ПРОЕКТА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ УТЕЧЕК

Данная работа посвящена технико-экономическому анализу и продвижению проекта по внедрению удаленного мониторинга состояния трубопроводов тепловых сетей с применением акустических датчиков обнаружения утечек. Предпосылками к созданию

проекта послужили увеличение числа аварий на трубах, а также экономически затратное устранение случившихся аварий.

Пилотный проект удаленного мониторинга предполагается реализовать на предприятии ГУП «ТЭК СПб». Государственное унитарное предприятие «Гопливно-энергетический комплекс Санкт-Петербурга» (ГУП «ТЭК СПб») - одна из ведущих теплоэнергетических компаний Северо-Запада. Основными видами деятельности являются выработка и снабжение тепловой энергией потребителей Санкт-Петербурга, транспортировка тепла, выработанного на источниках, не принадлежащих предприятию, эксплуатация городских инженерных теплосистем [1].

Акустические датчики утечек (например, датчики типа ORTOMAT-MTC) (рисунок 1) осуществляет непрерывный мониторинг состояния тепловых сетей в режиме on-line, при возникновении технологических нарушений датчик автоматически передает информацию в программный комплекс системы мониторинга и, как результат, тревожный сигнал диспетчеру [1]. Таким образом, компания сможет эффективнее предотвращать аварии. А также, сократить расходы на обследования тепловых сетей.



Рисунок 1. Акустический датчик ORTOMAT-MTC

Целью данной работы является изучение существующего процесса работы компании, выявление экономических потерь, минимизация этих потерь путем внедрения подобных датчиков ORTOMAT-MTC, повышение результативности работы компании и продвижение продукта на российский рынок.

В данный момент мониторинг состояния тепловых сетей осуществляется путем обходов и осмотров тепловых сетей. Метод оперативно-дистанционного контроля (ОДК) – применяется только на новых трубопроводах. Система контроля основана на применении датчика увлажнения изоляции. Недостатком данного метода является то, что бригада выезжает на место установки системы и там подключается к системе, чтобы получить сведения о состоянии труб.

Проблема состоит в не оперативности обнаружения аварий. Существующие методики диагностики тепловых сетей работают не эффективно, и являются затратными.

Первым этапом работы является выявление экономических потерь.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1) Изучение работы ГУП «ТЭК СПб», действия по предотвращению и ликвидации аварий.

2) Расчет убытков от ликвидации аварий за 1 год.

Второй этап работы – решение проблемы.

1) В рассмотренном проекте предлагается метод решения данной проблемы, а именно применение акустических датчиков утечек.

2) Вычисление стоимости внедрения данного метода.

3) Расчет экономической эффективности проекта внедрения акустических датчиков утечек.

4) Маркетинговые исследования и продвижение на российский рынок проекта оказания услуг по передаче тепловой энергии.

Новый метод мониторинга состояния трубопроводов тепловых сетей предполагает сокращение выездов бригад на место установки датчиков, так как данные будут поступать на компьютер диспетчера. Также, благодаря мобильности получения сведений будет имеется возможность предотвращения аварий на раннем этапе. Следствием этого является сокращение расходов на ликвидации аварий, а также уменьшение числа аварий в масштабах всей страны.

Для внедрения и успешного продвижения проекта нужен технико-экономический анализ и маркетинговый анализ. Технико-экономический анализ – комплексное изучение производственно-хозяйственной деятельности предприятия с целью объективной оценки ее результатов и дальнейшего ее развития и совершенствования [2]. Маркетинговый анализ – анализ данных, собранных в результате проведения маркетинговых исследований, в рамках выполнения задач комплексного маркетинга, их преобразование, систематизация, интерпретация и моделирование [3]. Технико-экономический анализ и маркетинговый анализ включают в себя анализ сокращения аварий и анализ затрат. В анализ сокращения аварий входит: экспертная оценка; исследование опыта промышленно развитых стран. Анализ затрат предполагает: расчет стоимости оборудования; закупка необходимых материалов и комплектующих; логистика поставок; разработка проекта модернизации трубопровода с целью установки датчиков; разработка программного обеспечения; тестирование и испытания; затраты по установке оборудования на объектах тепловой сети; заработная плата работникам. Эффективность метода будет рассчитана по протяженности тепловых трасс и длительности отопительного сезона.

На основании этих данных будет выявлено, что внедрение проекта удаленного мониторинга состояния трубопроводов тепловых сетей путем применения акустических датчиков утечек будет экономически эффективным и сократит постоянные затраты на мониторинг труб и ликвидацию последствий аварий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Официальный сайт государственного унитарного предприятия «Топливно-энергетический комплекс Санкт-Петербурга» - <https://www.gptek.spb.ru>
2. Лапенков В.И. Технико-экономический анализ деятельности предприятия. – Изд-во: «Кнорус», 2004.
3. Розова Н.К. Маркетинг. - СПб.: 2008. — 208 с.

УДК 658.511.3

А.С. Прокопчук, В.А. Косова, В.И. Петраш

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ САМООЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Качество – важнейшая характеристика, обеспечивающая конкурентоспособность продукции и организации в целом. Повышение конкурентоспособности предприятий сопровождается повышением заинтересованности к внедрению систем менеджмента качества, которые подразумевают постоянное совершенствование деятельности организации.

Совершенствование деятельности невозможно без измерения и анализа. Только опираясь на результаты анализа, можно наметить и реализовать дальнейшие шаги в улучшении деятельности. Такой всесторонний анализ в мировой практике получил название самооценки [1].

Для проведения самооценки деятельности организации необходимо сформулировать критерии, по которым организация будет оцениваться. Так, различные конкурсы, премии в области качества, среди которых Премия Правительства Российской Федерации в области качества, имеют целый ряд критериев, которые должна удовлетворить организация.

Самооценка деятельности организации изначально может проводиться по методу имитации, то есть согласно критериям и их коэффициентов весомости, установленным в модели Премии Правительства Российской Федерации в области качества, представленной на рисунке 1.



Рисунок 1. Модель Премии Правительства Российской Федерации в области качества

Организации-участники оцениваются в баллах по модели премии, включающей в себя две группы критериев:

– первая группа критериев характеризует, процессы и механизмы, с помощью которых организация достигает результатов в области качества, и включает в себя критерии с первого по пятый («возможности»);

– вторая группа критериев характеризует, полученные результаты, и включает в себя критерии с шестого по девятый («результаты»).

Детализация каждого критерия содержится в подкriterиях, представляющих собой формулировки, более подробно раскрывающие, какие именно аспекты деятельности в наибольшей степени характеризуют успешную деятельность организации. Эти составляющие рассматриваются при оценке [2].

Для проведения самооценки деятельности организации необходимо произвести выбор показателей для каждого отдельного процесса, разработать четыре уровня зрелости для каждого подкритерия на основе чего формируются опросные листы [3].

По результатам выставленных аудиторами процентов происходит их общий подсчет и перевод в баллы по подкритериям, с учетом их коэффициента весомости в разработанной форме расчетов в Excel.

Ниже приведен пример проведения оценки деятельности оптического участка ООО «НПК «АЗИМУТ», занимающегося производством оптических трубок. В таблице 1 представлены подкритерии, их фактические и максимальные значения, а также резерв для улучшения в баллах.

Таблица 1. Расчет резерва для улучшения по критериям

Номер критерия	Фактическое значение	Максимальное значение	Резерв
5а	2,26	4,17	1,90
5а1	0,78	0,83	0,06
5а2	0,40	0,83	0,43
5а3	0,78	0,83	0,06
5а5	0,31	0,83	0,53
5а6	0,00	0,83	0,83
5г	0,00	1,71	1,71
5г2	0,00	1,71	1,71
9б	5,19	7,50	2,31
963.1	0,17	1,25	1,08
963.2	0,40	1,25	0,85
963.3	1,08	1,25	0,17
963.4	1,15	1,25	0,10
963.5	1,25	1,25	0,00
Общий резерв			5,93

Согласно представленной таблице, наибольший резерв возможности улучшения наблюдается в следующих подкритериях:

– 5г (1,71) производство, поставка и последующее обслуживание продукции и услуг:

5г2 (1,71) управляют производством продукции и услуги, например, с помощью внедрения инструментов бережливого производства (стандартизация работ, организация рабочего пространства, картирование потока создания ценности, визуализация, быстрая переналадка, защита от непреднамеренных ошибок, канбан, всеобщее обслуживание оборудования).

– 5а (1,90) систематическое проектирование и менеджмент процессов:

5а6 (0,83) оценивание применительно к процессам влияние и добавленную ценность инноваций и улучшений, используют данные о текущем состоянии процессов и результаты изучения лучшего опыта для введения улучшений;

– 9б (2,31) качество продукции и услуг и другие результаты работы организации:

963.1 (1,08) внедрение новых процессов и технологий;

963.2 (0,85) улучшения в процессах [2].

Для наглядности распределения баллов по критериям по результатам оценки всех подразделений была построена лепестковая диаграмма, представленная на рисунке 2.

Согласно проведенным расчётом, определяются те критерии, которые имеют наибольший резерв для улучшения, с целью ориентации подразделений организации на увеличение баллов по каждому подкритерию путем планирования мероприятий по улучшению деятельности.

После проведения второго цикла самооценки помимо подсчета баллов по каждому подкритерию возможно проведение сравнительного анализа результатов самооценки деятельности организации [4].

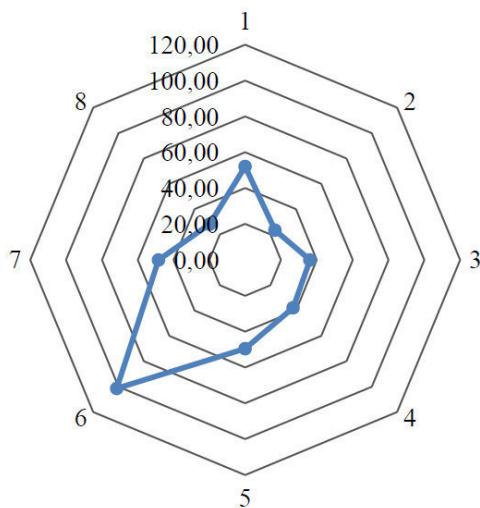


Рисунок 2. Лепестковая диаграмма количества баллов по критериям самооценки

Также при дальнейшем проведении самооценки возможно изменение критериев и их коэффициентов весомости, с учетом специфики деятельности организации.

Таким образом, самооценка помогает оценить организации уровень собственной деятельности, определить свои сильные и слабые стороны, а также привлечь к этому процессу весь персонал организации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Щукин О.С. Самооценка организации: Кросс-диагностика. Семь инструментов качества// Учебное пособие по курсу "Управление качеством". — Воронеж: ВГУ, 2005. — 58 с.
2. Руководство для организаций – участников конкурса на соискание премий Правительства Российской Федерации в области качества № 61-МД/10. – Москва: 17.09.2018. – 28 с.
3. Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества: ГОСТ Р ИСО 9004-2010 - Взамен [ГОСТ Р ИСО 9004-2001](#); введ. 2011-06-01. – М.: Стандартинформ: официальное издание, 2011. – 41 с.
4. Порядок проведения самооценки деятельности организации: СТО 22-19; введ. 31.01.19

УДК 65.015.13

И.Н. Алексеев, И.Э. Ананьев, А.Д. Фернандо
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Проектирование производственных систем в машиностроении является итерационным процессом, и при пространственном и временном планировании требуется выполнять оценку эффективности принимаемых технических решений. При этом необходимо анализировать большое количество вариантов, которые без привлечения современных методов синтеза и анализа производственных систем проблематично [1].

Tecnomatix Plant Simulation представляет собой инструмент дискретного имитационного моделирования, который позволяет создавать цифровые модели логических систем для определения характеристик системы и оптимизации ее производительности. Созданные цифровые модели позволяют проводить эксперименты и прорабатывать сценарии «что если» без вмешательства в работу существующих производственных систем или

задолго до внедрения реальных систем. Данная программа имеет обширный набор аналитических инструментов (анализ узких мест, статистические данные и графики) помогает оценить различные сценарии производства. Полученная в результате этого информация необходима для быстрого принятия верных решений на ранних стадиях планирования производства [2]. Компания SIEMENS представляет возможность студентам бесплатно получить лицензию на данную программу.

Разработка имитационной модели выполняется по результатам укрупненного расчета ПС. Структура имитационной модели строится на основе планировочной схемы оптимальной ПС (рисунок 1). Для настройки модели используются параметры надежности элементов ПС (таблица 2) и характеристики времени выполнения операций оптимальной ПС (таблица 1).

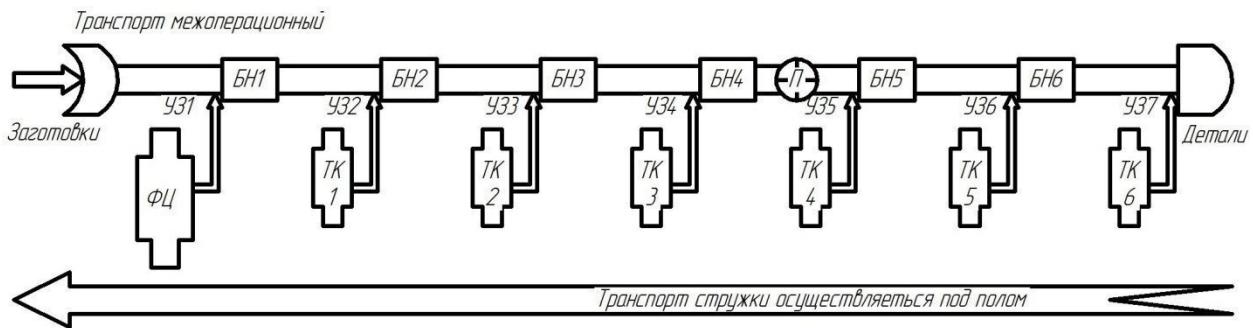


Рисунок 1. Планировочная схема оптимальной ПС:
ФЦ – станок фрезерно-центровальный; ТК – станок токарно-копировальный;
УЗ – устройство загрузки/выгрузки; Бн – бункер-накопитель.

Структура имитационной модели создается в одном фрейме программы Plant Simulation (рисунок 2).

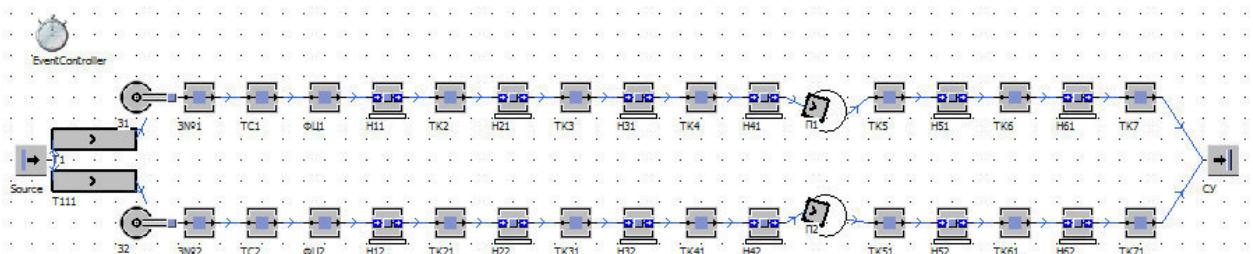


Рисунок 2. Структура имитационной модели ПС в 2D

Каждому объекту присваиваются интуитивно понятные имена, а затем, на соответствующих закладках диалоговых окон настройки элементов модели, вводят значения параметров времени работы, надежности и др. Алгоритм работы элементов принимается по умолчанию. В начале создания модели, для проверки результатов укрупненного расчета, значения параметров элементов считаем постоянными – тип «Константа». В реальности эти значения параметров являются случайными величинами.

Таблица 1. Время обработки детали в позициях и цикловые затраты времени

Параметры ПС	Время операции, сек.
Время цикла обработки вала	93,54
Время разжима заготовки	7,02
Транспортирования заготовки	6,06
Время зажима заготовки	6,84
Подвод инструментов	7,98
Отвода инструментов	7,32
Фрез. и зацентровка торцев	36,18
Черн. обр. поверхностей 1,2,3	58,32
Чист. обр. поверхностей 1	25,68
Чист. обр. поверхностей 2,3	49,8
Черн. обр. поверхностей 4,5	45,84
Чист. обр. поверхностей 4,5	49,08
Проточка и снятие фасок	35,58
Фрезер. и зацентр.торцев	58,32

Таблица 2. Параметры надежности элементов ПС

Параметры надежности	Доступность, %	Среднее время ремонта, с
транспорт. сист.	96,29	2771,01
узел загр. /выгр.	79,38	1336,21
модуль загрузки	66,10	2638,15
транспорт стружки	96,29	2771,01
поз. 1 фрез. ст.	90,95	286,57
поз. 2 токар. ст.	94,19	66,67
поз. 3 токар. ст.	87,70	151,40
поз. 4 токар. ст.ст.	93,26	78,07
поз. 5 токар. ст.	92,72	84,82
поз. 6 токар. ст.	93,17	79,22
поз. 7 токар. ст.	90,81	109,27
поз. 8 токар. ст.	96,29	69,28
бункер-накопитель	96,29	69,28
устройство поворота	96,29	1039,13
система управл. ПС	96,29	2771,01

Программа предоставляет широкие распределенных по различным законам набор генераторов случайных чисел, распределение Пуассона, нормальное распределение и т.д.

Таблица 3. Первый отчет имитационной модели

Накопленная статистика деталей, уничтоженных стоком									
Объект	Имя	Среднее время жизни	Пропускная способность	TPH	Производство	Транспорт	Хранение	Значение добавлено	Часть
СУ	Entity	56:12.9674	220	28	24.71%	64.27%	11.01%	11.89%	

Для события, в качестве примера, выберем 8 часовой рабочий день и начинаем расчет. После вычислений, программа выдает отчет (таблица 3), в котором указана пропускная способность за время моделирования, в нашем случае сменная производительность ПС составляет 220 дет/см, а часовая производительность 28 дет/час. Среднее время нахождения (жизни) детали в ПС суммарно на различных позициях составило 56 минут 12.96 секунды, на транспортировку деталей и заготовок затрачено 64,27% от времени моделирования, время рабочих ходов составило 24,71% от времени моделирования, время ожидания обработки заготовками составило 11,01% от времени моделирования, среднее время жизни заготовок в ПС превысило сумму времени рабочих ходов по технологии обработки детали на 39,56%.

С помощью специального инструмента «Chart», создаем статистику ресурсов (рисунок 3), анализ диаграммы показывает, что позиции 31, 32, 3№1, 3№2 являются «узким местом» производственной системы, сбои и блокировка занимают больший процент от времени операции.

Для повышения устойчивой работы в структуру ПС добавим 8 объектов параллельно позициям с «узким местом» (рисунок 4) и выполним симуляцию.

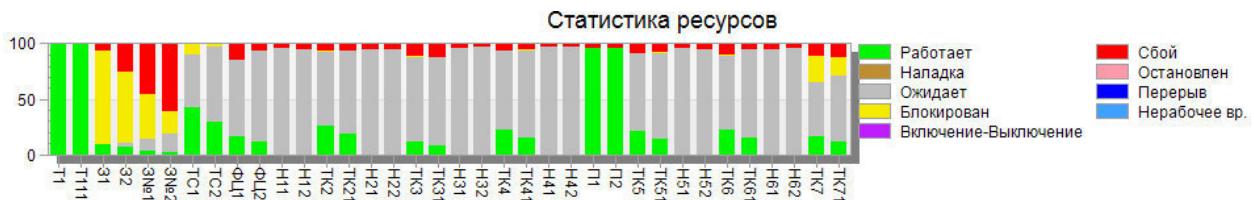


Рисунок 3. График статистики ресурсов

После проделанных операций, пропускная способность за время моделирования увеличилась с 220 дет/см до 494 дет/см, а часовая производительность с 28 дет/час до 62 дет/час. Среднее время жизни детали в ПС уменьшилось с 56 минут 12,96 секунд до 44 минут 2,41 секунд, на транспортировку деталей и заготовок снизилось с 64,27% до 41,41%, время рабочих ходов повысилось с 24,71% до 29,68%, время ожидания обработки заготовками повысилось с 11,01% до 28,91%, среднее время жизни заготовок в ПС превышавшее сумму времени рабочих ходов по технологии обработки детали снизилось с 39,56% до 11,73%.

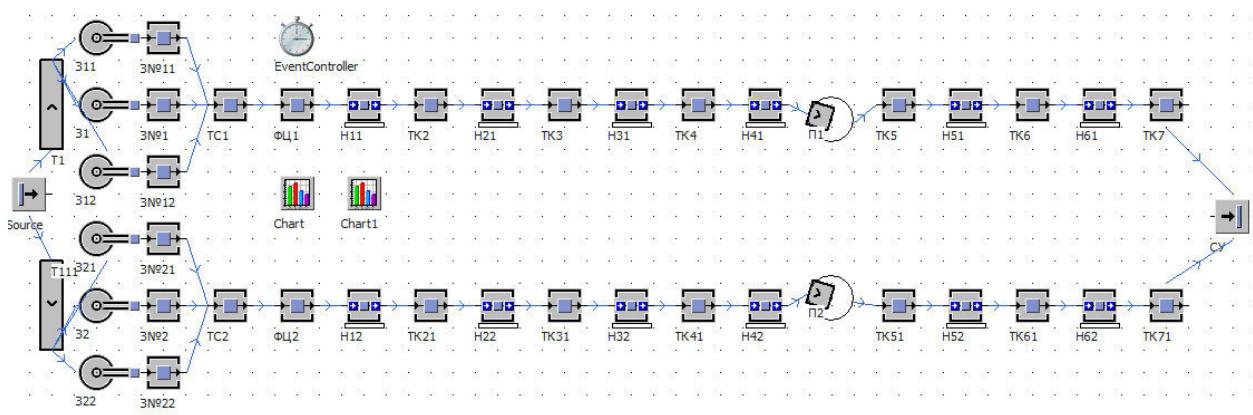


Рисунок 4. Измененная структура имитационной модели ПС.

Таблица 4. Второй отчет имитационной модели

Накопленная статистика деталей, уничтоженных стоком								
Объект	Имя	Среднее время жизни	Пропускная способность	TPH	Производство	Транспорт	Хранение	Значение добавлено
СУ	Entity	44:02.4103	494	62	29.68%	41.41%	28.91%	15.18%

С помощью инструмента Plant Simulation мы наглядно показали, что моделирование и воспроизведение производственных систем значительно упрощается, и появляется возможность в реальном времени менять разные факторы, влияющие на производственный процесс, и моментально получать прогнозы на будущее, не вмешиваясь в реальное производство. Кроме того, обеспечивается возможность оптимизации материалопотоков, использования ресурсов и логистики на всех уровнях планирования производства, от глобальных производственных объектов до региональных заводов и отдельных производственных линий.

ЛИТЕРАТУРА:

- Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. –М.: Машиностроение. М38 Технологическая подготовка производства. Проектирование и обеспечение деятельности предприятия. Т. III-1 / А.В. Мухин и др.; Под общ. Ред. А.В. Мухина. 2005. 576с.: ил.

2. Обзор продукта Plant Simulation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.plm.automation.siemens.com.
3. Tecnomatix Plant Simulation Student Download [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.plm.automation.siemens.com/plmapp/education/plant-simulation/en_us/free-software/student/.

СЕКЦИЯ «ТРИБОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, КОНСТРУИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ»

УДК 62-762, 678

А.А. Ашайчик, Д.К. Зорин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ КАРБОНОВ И ИХ УСТОЙЧИВОСТИ К ВЗРЫВНОЙ ДЕКОМПРЕССИИ

В настоящее время в авиакосмической технике, автомобилестроении, судостроении, машиностроении, медицинской технике широко применяются карбоны, которые обладают высокой прочностью, жесткостью, малым удельным весом, повышенной химической стойкостью и высоким модулем упругости [1]. Кроме вышеперечисленных свойств карбоны, используемые при изготовлении шаровых кранов, клапанов или задвижек с большим условным проходом, применяющихся в аэрокосмической промышленности, должны обладать устойчивостью к взрывной декомпрессии и высокой износостойкостью [2]. В инертной среде эти материалы работают при температуре до 2500°C.

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование коэффициентов трения, износостойкости, а также устойчивости к взрывной декомпрессии двух карбонов марок «V0» и «VV».

Для исследования коэффициентов трения и износостойкости карбонов использовался стенд для испытаний материалов на трение и износ при возвратно-поступательном движении, конструкция которого описана в работах [3–5]. При проведении испытаний в нижний, подвижный держатель устанавливались два одинаковых цилиндрических образца диаметром 9 мм и длиной 150 мм, изготовленных из карбонов марок «V0» и «VV». Верхний образец изготавливался из стали. Скорость скольжения составляла 0,08 м/с. Результаты испытаний по определению коэффициента трения при трении без смазочного материала приведены на рисунке 1. Экспериментальные исследования по изучению коэффициентов трения двух карбонов марок «V0» и «VV» позволили установить, что карбон «VV» имеет во всем диапазоне нормальных нагрузок коэффициент трения в 1,3 – 1,6 раза более низкий, чем карбон «V0».

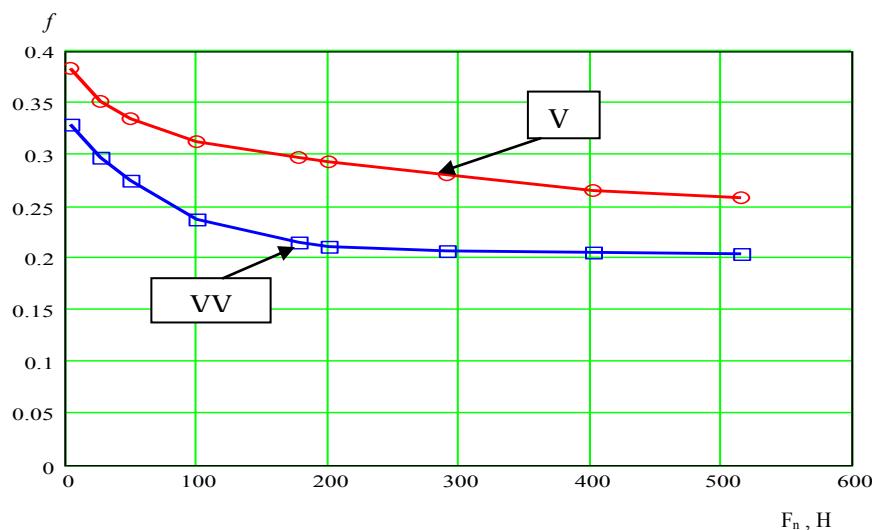


Рисунок 1. Зависимость коэффициента трения от нормальной нагрузки
для карбонов марок V0 и VV

Испытания на износ проводились при нормальной нагрузке на верхний, неподвижный стальной образец 2,6 Н и числе двойных циклов 17000 при трении без смазочного материала, а также при смазывании маслом. После проведения испытаний на износ измерялись ширина площадки износа, и рассчитывалась высота изношенного слоя. Ширина площадки износа измерялась в трех точках на каждом образце на микроскопе с 16 кратным увеличением с точностью 0,01 мм. При такой точности измерения ширины площадки контакта и диаметре образцов 9 мм точность определения высоты изношенного слоя составляет около 1 мкм. В таблице 1 приведены средние значения измерений и вычислений износа, проведенные для карбонов «V0» и «VV» в трех точках каждого из двух образцов.

Таблица 1. Результаты измерений и вычислений износа для карбонов «V0» и «VV»

Марка карбона	Смазочный материал	Ширина площадки износа, мм	Высота изношенного слоя, мм
V0	Без смазочного материала	1,31	0,046
V0	Гидравлическое масло	0,54	0,010
VV	Без смазочного материала	0,65	0,012
VV	Гидравлическое масло	0,31	0,003

Исходя из анализа результатов измерений износа, приведенных в таблице 1, следует, что карбон «VV» имеет при трении без смазочного материала и при смазывании маслом износ в 4 раза более низкий, чем карбон «V0».

Для исследования исследование карбонов на устойчивость к взрывной декомпрессии использовался специальный стенд для испытаний композиционных полимерных материалов и резин на устойчивость к взрывной декомпрессии при температурах до 220°C и давлении газа до 150 атм. (рисунок 2), конструкция которого описана в работах [2, 6, 7].



Рисунок 2. Стенд для испытаний материалов на устойчивость к взрывной декомпрессии

При испытаниях карбонов в высотемпературную камеру стенда помещалась кассета с четырьмя образцами карбона. Исследования проводились при двух температурах +20°C и +150°C. При испытания давление со 150 атм сбрасывалось до атмосферного за 0,08 – 0,1 с. Все параметры методики испытаний карбонов на устойчивость к взрывной декомпрессии приведены в таблице 2. Диаметры образцов до и после испытаний измерялись электронным микрометром с точностью измерения до 0,001 мм.

Таблица 2. Параметры методики испытаний карбонов на устойчивость к взрывной декомпрессии

Параметр	Рекомендуемые значения
Давление	140 – 150 атм.
Температура	+20°C и +150°C
Состав газа	N ₂ (90%)/CO ₂ (5%)/He(5%) или N ₂ (100%)
Время декомпрессии	150 – 0 атм. < 0,1с
Время насыщения газом	120 – 240 ч
Число сбросов давления	1

Проведенные экспериментальные исследования карбонов «V0» и «VV» показали, что оба карбона устойчивы к взрывной декомпрессии: на поверхности образцов после декомпрессии не наблюдалось никаких дефектов и размеры всех образцов остались абсолютно без изменений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Чулкин С.Г., Ашайчик А.А., Селин С.Н. Применение подшипников из углепластиков в судостроении, турбостроении, горнодобывающей технике // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2012. – №2. – С. 805-816.
2. Ашайчик А.А. О методике испытаний эластомеров на устойчивость к взрывной декомпрессии // Фундаментальные исследования в технических университетах. Сер. «Труды СПбГПУ». – СПб, 2007 – С.247-248.
3. Ашайчик А.А. Стенд для исследования трибологических свойств материалов// Фундаментальные исследования в технических университетах: тезисы докл. XIV Всероссийской конф. – СПб, 2010. – Т.1. – С.139-140.
4. Ашайчик А.А. Детали машин и основы конструирования. Справочные материалы по проектированию: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 111 с.
5. Жуков В.А., Ашайчик А.А. Механика. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. – 70 с.
6. Ашайчик А.А., Самсоненко А.А. Исследование тяговой способности толкателей с резиновыми подушками для нефтяного оборудования// Современное машиностроение. Наука и образование. – 2018. – № 7. – С. 247-255.
7. Ашайчик А.А., Полонский В.Л. Определение энергии активации эластомеров экспериментально-теоретическим методом. // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2014. – № 4. – С. 283-291.

УДК 62-762.4, 62-762.8, 678

А.А. Ашайчик, Е.С. Грязнов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДУЛЯ И МОДУЛЯ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ПОЛИУРЕТАНОВ

Полиуретаны наряду с резинами широко используются в машиностроении для изготовления упругих элементов, в частности, упругих муфт, демпферов и амортизаторов. Для проектирования таких конструкций необходимо знать характеристики полиуретанов при действии динамических нагрузок, наиболее важными из которых являются частотные и амплитудные зависимости действительной E' и мнимой E'' частей комплексного модуля E* [1-3].

$$E^* = E' + iE'', \quad (1)$$

где E' – действительная часть комплексного модуля (динамический модуль); E'' – мнимая часть комплексного модуля (модуль внутреннего трения).

Динамический модуль, совпадающий по фазе с деформацией, характеризует упругую энергию, запасаемую при деформировании. Модуль внутреннего трения характеризует величину рассеянной энергии. Значительный интерес в качестве характеристик эластомера представляют величины динамического модуля и тангенс угла потерь определяемый по формуле

$$\operatorname{tg}\delta = E'/E'', \quad (2)$$

где δ – угол фаз с частотой для эластомера, не проявляющего текучести.

Задачей данной работы явилось экспериментальное определение динамического модуля и модуля внутреннего трения для двух полиуретанов марок QA965/A250MX (далее – дуотан QA965) и QA980/A250MX (далее – дуотан QA980) по ГОСТ 10828-95 «Метод определения динамического модуля и модуля внутреннего трения при знакопеременном изгибе с вращением». Испытания проводились в зоне вязкоупругого состояния в определенном диапазоне частот и заданных амплитудах деформации. Схема и описание установки для исследования динамического модуля эластомеров при знакопеременном изгибе с вращением (рисунок 1) приведена в работах [4-6].

Испытывались стандартные образцы диаметром 8 мм и длиной рабочей части образца 23,5 мм при изгибе с заданной амплитудой деформаций и заданными частотой вращения и температурой окружающей среды. Испытания по изучению влияния частоты вращения и амплитуды деформаций на динамические характеристики дуотанов проводились при температуре окружающей среды +25°C. Результаты испытаний полиуретанов приведены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1. Влияние частоты вращения на динамические характеристики дуотанов QA965 и QA980 при температуре окружающей среды 25°C

f, Гц	Дуотан QA965 ($\varepsilon_a = 0,175$)			Дуотан QA980 ($\varepsilon_a = 0,100$)		
	E', МПа	E'', МПа	$\operatorname{tg}\delta$	E', МПа	E'', МПа	$\operatorname{tg}\delta$
20	7,16	0,29	0,0405	14,7	0,99	0,0673
40	7,24	0,31	0,0428	15,0	1,12	0,0747
60	7,35	0,32	0,0435	15,0	1,18	0,0787
80	7,37	0,33	0,0448	15,0	1,21	0,0807
100	7,37	0,35	0,0475	15,2	1,25	0,0822

Таблица 2. Влияние амплитуды деформаций на динамические характеристики дуотанов QA965 и QA980 при частоте вращения 100 Гц и температуре окружающей среды +25°C

Дуотан QA965				Дуотан QA980			
ε_a	E', МПа	E'', МПа	$\operatorname{tg}\delta$	ε_a	E', МПа	E'', МПа	$\operatorname{tg}\delta$
0,150	7,46	0,37	0,0496	0,100	15,2	1,25	0,0822
0,175	7,37	0,35	0,0475	0,125	15,0	1,12	0,0747
0,200	7,20	0,32	0,0444	0,15	14,7	0,96	0,0653

0,225	7,11	0,30	0,0422	0,175	14,5	0,88	0,0607
0,250	7,08	0,28	0,0395	0,200	-	-	-



Рисунок 1. Установка для исследования динамического модуля и модуля внутреннего трения при знакопеременном изгибе с вращением

В таблицах приведены средние арифметические значения, полученные по результатам трех измерений. Для изучения влияния температуры окружающей среды на динамические характеристики дутанов в камере для испытаний путем ее прогрева с установленным в ней образцом создавалась объемная температура в диапазоне от +40 до +100°C. После достижения в объеме камеры и на поверхности образца заданной температуры образец приводился во вращение и измерялись его характеристики.

Таблица 3. Влияние температуры окружающей среды на динамические характеристики дутанов QA965 и QA980 при частоте вращения 100 Гц

t _о , °C	Дутан QA965 ($\varepsilon_a = 0,175$)			Дутан QA980 ($\varepsilon_a = 0,100$)		
	E', МПа	E'', МПа	tgδ	E', МПа	E'', МПа	tgδ
25	7,37	0,35	0,0475	15,2	1,25	0,0822
40	7,14	0,34	0,0476	15,0	1,12	0,0747
60	6,82	0,33	0,0484	14,7	0,97	0,0660
80	6,38	0,31	0,0487	14,4	0,84	0,0583
100	5,53	0,29	0,0524	14,1	0,76	0,0539

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что при увеличении частоты вращения от 20 до 100 Гц динамический модуль и модуль внутреннего трения для этих полиуретанов уменьшаются. Увеличение амплитуды деформаций с 0,1 до 0,3 также приводит к уменьшению этих характеристик. Оба испытанных полиуретана имели невысокие температуры саморазогрева (не выше 90°C), по сравнению с различными типами

резин (до 200°C) [7], имеющими аналогичные динамические модули упругости при испытаниях в аналогичных условиях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ашейчик А.А. Экспериментальная механика. Определение физико-механических свойств полимеров и эластомеров. – СПб.: Изд-во СПбПУ. – 2016. – 168 с.
2. Ашейчик А.А., Полонский В.Л. Экспериментальное исследование эластомеров и полимеров для нефтяной промышленности. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2015. – 236 с.
3. Жуков В.А., Ашейчик А.А. Механика. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2004. – 70 с.
4. Ашейчик А.А. Стенд для исследования динамического модуля и модуля внутреннего трения эластомеров // Фундаментальные исследования в технических университетах: тезисы докл. XIV Всероссийской конф. СПб. – 2010. – Т.1. – С.140-141.
5. Ашейчик А.А., Ахметшин Т.Д. Испытание эластомеров при знакопеременном изгибе с вращением // Материалы XL Неделя науки СПбГПУ. – СПб, 2011. – С. 156-157.
6. Ашейчик А.А. Детали машин и основы конструирования. Справочные материалы: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2014.– 111 с..
7. Ашейчик А.А., Полонский В.Л. Определение энергии активации эластомеров экспериментально-теоретическим методом // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2014. – № 4. – С. 283-291.

УДК 621.2.082.18

А.Д. Бреки, Г.В. Иванова, Е.А. Тарасенко

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ «ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕНИЯ И ИСТИРАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ»

В рамках подготовки студентов «Высшей школы машиностроения» института машиностроения, материалов и транспорта по направлению: 15.03.01 – «Машиностроение» по программе «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановление деталей машин и аппаратов» предусмотрены дисциплины «Теоретические основы повышения износостойкости и восстановления деталей машин», «Оборудование для повышения износостойкости и восстановления деталей машин».

Одним из видов работ является лабораторный практикум по изучению характеристик материалов в процессах истирания и изнашивания.

Надежность и долговечность оборудования для переработки, перегрузки и транспортирования сырья в различных отраслях промышленности таких как: угольной, обогатительной, металлургической, химической, строительных материалов, сельского хозяйства зависит от состояния его рабочих поверхностей, выполненных из неметаллических материалов.

В условиях интенсификации нагрузок в современных машинах и механизмах проблемы снижения трения и износа встают особенно остро. В связи с этим, исследование механизма процесса изнашивания неметаллических элементов является актуальной задачей [1].

Целью работы является изучение трения и процесса истирания образцов из неметаллических материалов.

Лабораторные испытания исследования образцов проводятся в международном научно-образовательном центре «BaltTribo-Polytechnic» на машине трения возвратно-поступательного движения типа МТВП (рисунок 1).



Рисунок 1. Машина трения возвратно-поступательного типа МТВП

В качестве истирающего образца используется цилиндрический острокромочный образец с высокой степенью шероховатости.

Схема проведения испытаний представлена на рисунке 2. В качестве контртела используются образцы из неметаллических материалов размером 30x40x10мм, например, нитрильный каучук, резины различных марок, полиуретаны [2, 3].

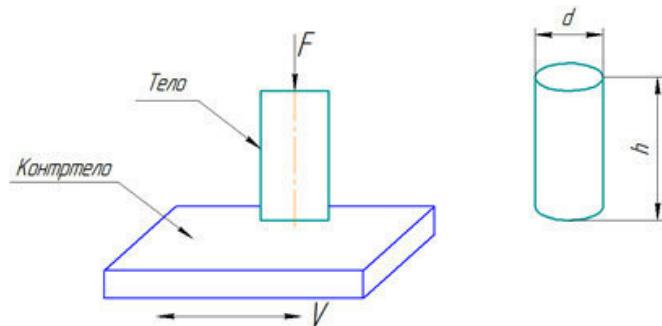


Рисунок 2. Схема проведения испытаний

При исследовании параметров образцов используется следующее оборудование: автоматический микротвердомер Future-TechFM-300, профилометр MahrMarSurfP.

Фото шероховатости поверхности металлического образца, выполняются на установке МБС-9 и μ Vizo-MET (рисунок 3), неметаллического образца - на инвертированном микроскопе MeijiTechnoI M7000 (рисунок 4). В качестве примера приведены результаты, полученные авторами для образца из стали ШХ15 и нитрильного каучука [4].

Лабораторный практикум включает в себя следующие этапы выполнения работы:

- ознакомление с установкой для испытаний МТВП, принципом действия и режимами работы установки;
- подбор материалов образцов, изучение их свойств и характеристик;
- проведение испытаний на установке МТВП;
- исследование влияния режимов испытаний таких как: скорость перемещения неметаллических образцов, усилия прижатия истирающего тела на деформацию поверхности образцов;

- обработка экспериментальных данных: определение действительного значения силы трения в зависимости от нагрузки;
- изучение свойств образцов после испытаний – микротвердости, шероховатости образцов и оптические исследования поверхностей образцов.
- выводы по результатам испытаний.

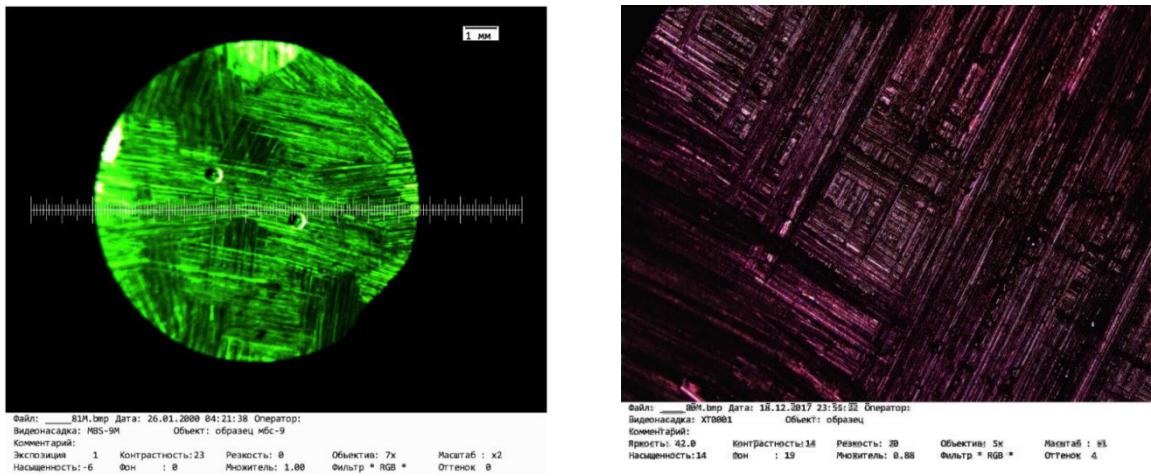


Рисунок 3. Измерение шероховатости поверхности образца из стали ШХ15



Рисунок 4. Виды разрушений образца при нагрузках 10,20 и 30 Н

Исследования материалов на истирание являются перспективным направлением материаловедения и машиностроения. Изучение процесса изнашивания, направленное на совершенствование технологии и оборудования, позволяет интегрировать научный и образовательный процессы, осуществить фундаментальную подготовку практико-ориентированных инженеров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Селиханович А.М., Тамаркин В.Ф., Горонович С.Н., Кошторев Н.И., Бобылев Г.Г. Протектор для бурильных труб. 2123100. ПатентРФ. E21B017/10. 10.12.1998
2. «ГОСТ 11629-75 - Пластмассы. Метод определения коэффициента трения». 1975. – 6с.
3. Breki, A.; Nosonovsky, M. Ultraslowfrictionalslidingandthestick-sliptransitionAppl. Phys. Lett.2018, 113 (24), 241602.
4. Бреки А.Д., Иванова Г.В., Тарасенко Е.А. Лабораторные исследования трения и истирания нитрильного каучука/ Технология машиностроения и материаловедение: Материалы международной научно-практической конференции.– Новокузнецк: НИЦ МС, 2019. – №3. с. 47-50.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ С СОДЕРЖАНИЕМ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО МОДИФИКАТОРА

Введение. Большие нагрузки и сложные механизмы предъявляют высокие требования к моторному маслу. На текущий момент на рынке представлено большое количество синтетических масел различных марок.

Существует следующие виды моторных масел: минеральные, полусинтетические и синтетические. Минеральные масла являются первичным продуктом переработки нефти и имеют высокую вязкость. Такое масло нуждается в довольно частой замене. В этой статье будут рассматриваться синтетические и полусинтетические масла. Синтетические масла имеют сравнительно низкую вязкость, обладают большим сроком службы, кроме того, их можно применять при высоких температурах. А, в свою очередь, полусинтетические масла получают при смешивании двух различных основ в следующих пропорциях: 30-50% синтетического масла 50-70% минерального. Важно отметить, что по сравнению с минеральными, полусинтетические масла значительно эффективнее, кроме того, они дешевле синтетических масел [1].

Объектами исследования явились синтетическое масло G-Energy F Synth 5W-30, а также полусинтетическое масло MobilUltra 10W-40. Информация о данных синтетических материалах представлена в таблице 1 [2, 3].

Таблица 1. Основные физико-химические свойства исследуемых масел

Масло	Щелочное число, мг КОН/1г масла	Кинематическая вязкость (100 °C), Мм ² /с	Температура вспышки, °C	Температура застывания, °C
G-EnergyFSynth 5W-30	11	11,9	238	-42
MobilUltra 10W-40	9	14,5	221	-40

G-EnergyFSynth 5W-30 – полностью синтетическое моторное масло, предназначенное для максимальной защиты бензиновых и дизельных двигателей, работающих в различных условиях эксплуатации [2].

MobilUltra 10W-40 – высококачественное многоцелевое полусинтетическое моторное масло для тяжелонагруженных двигателей грузовых автомобилей, автобусов, тракторной и специальной техники [3].

В качестве модификатора трения использовался мелкодисперсный порошок дисульфида молибдена.

Цель исследования состояла в том, чтобы выяснить, какое моторное масло будет работать эффективнее при добавлении в него модификатора трения.

Для достижения данной цели нужно решить следующие задачи:

1. Определение влияния модификатора трения, добавляемого в синтетическое моторное масло, на интенсивность изнашивания шариков подшипника.

2. Определение влияния модификатора трения, добавляемого в полусинтетическое моторное масло, на интенсивность изнашивания шариков подшипника.

Для проведения испытаний использовалась универсальная машина трения 2070 СМТ-1 (рисунок 1). Данная установка позволяет проводить испытания по различным схемам, например, «ролик-ролик», «вал-втулка». Для исследования выбранных смазочных масел проводились испытания по методике, описанной в ГОСТ 51860-2002 «Оценка противоизносных свойств смазочных материалов методом «шар-цилиндр» [4]. Схема испытаний представлена на рисунке 2.



Рисунок 1. Универсальная машина трения 2070 СМТ-1

Схема испытаний:
1 – неподвижный образец;
2 – подвижный образец;
3 – испытуемое масло

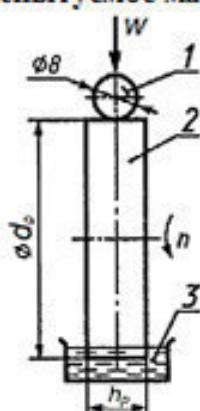


Рисунок 2. Схема испытаний

В начале исследования испытывались масла в исходном состоянии, затем – содержащие 1% по массе мелкодисперсные частицы модификатора. После обработки результатов испытаний были построены графики зависимости интенсивности изнашивания от контактного давления для базовых масел и масел, модифицированных порошком дисульфида молибдена.

Результаты. Из графика (рисунок 3) видно, что модифицированный смазочный материал MobilUltra 10W-40 превосходит по трибологическим характеристикам базовое масло MobilUltra 10W-40. В отношении синтетического масла G-EnergyFSynth 5W-30 наблюдается обратная тенденция.

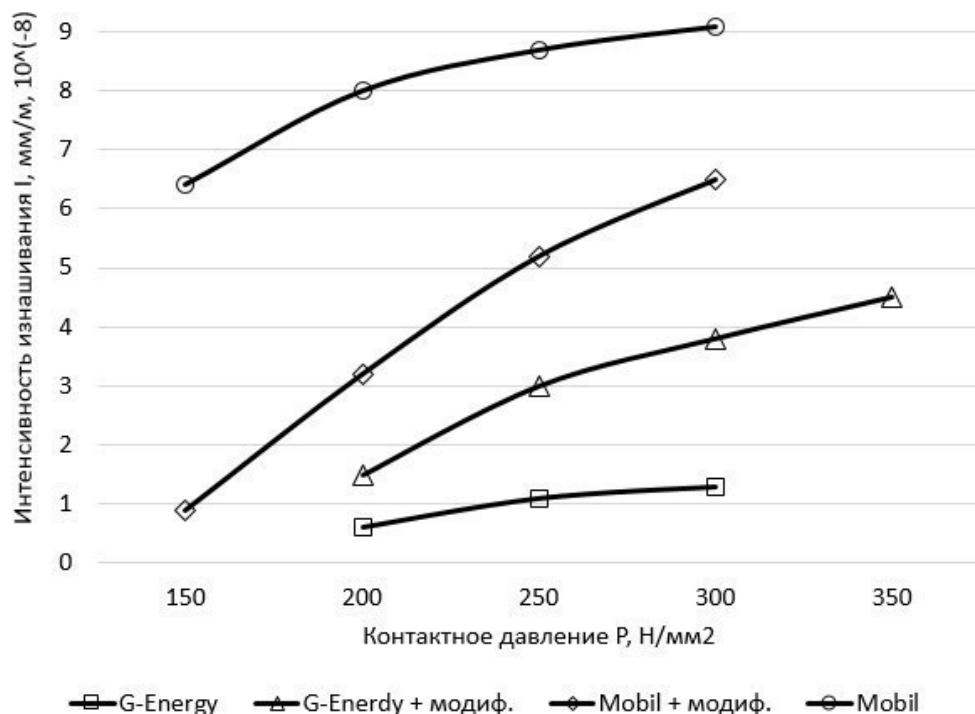


Рисунок 3. График зависимости интенсивности изнашивания от контактного давления для смазочных материалов MobilUltra 10W-40 и G-EnergyFSynth 5W-30 в исходном состоянии и модифицированных порошком дисульфида молибдена

Выходы. В ходе исследования было выявлено, что не всегда добавление мелкодисперсных модификаторов дает положительный эффект. При использовании модификатора трения эффективнее по сравнению с исходным состоянием работало полусинтетическое масло MobilUltra 10W-40. Это можно объяснить тем, что синтетические масла имеют более сбалансированный состав, чем полусинтетические. Введение дополнительных присадок может привести к увеличению температуры в зоне контакта и повысить износ сопрягаемых деталей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Розенберг Ю.А. Влияние смазочных масел на долговечность и надёжность деталей машин – М.: Машиностроение, 1970. – 304 с.
2. Моторные масла G-Energy [Офиц. сайт]. URL: <http://g-energy.org> (дата обращения: 29.09.2019).
3. MobilTMРоссия [Офиц. сайт]. URL: <https://mobiloil.com.ru/ru> (дата обращения: 29.09.2019).
4. ГОСТ Р 51860-2002. Обеспечение износостойкости изделий. Оценка противоизносных свойств смазочных материалов методом «шар – цилиндр» [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 8 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНОЙ МАТРИЦЫ КАБЕЛЯ-ТОЛКАТЕЛЯ ДЛЯ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Для большинства действующих нефтяных скважин актуальна задача увеличения количества добываемой нефти. Технически эта задача решается разными средствами, но первоначально следует сделать анализ состояния скважины. Для доставки измерительного комплекса в нефтяную скважину с целью анализа состояния скважины и ее возможного восстановления используются специальные кабели-толкатели [1-3]. В таких кабелях медный проводник с изоляцией находится в матрице (рисунок. 1).

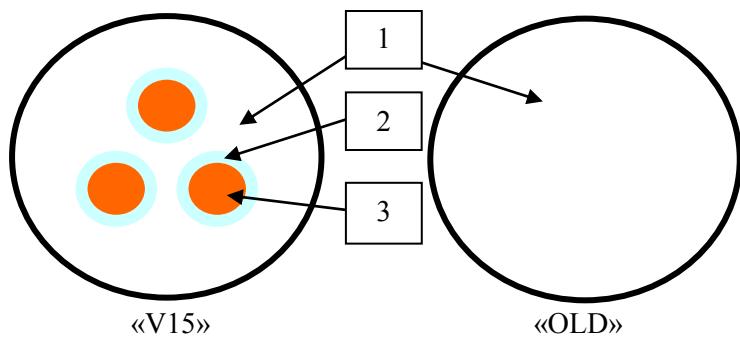


Рисунок 1. Конструкции кабелей: 1- матрица; 2 -изоляция; 3 - медный проводник

Одним из основных свойств к таким композитным матрицам является высокая радиальная прочность. Матрицы кабелей-толкателей обычно изготавливают из композитных материалов на основе углеродных волокон (карбонов), которые имеют высокую прочность и химическую стойкость к воздействию морской воды и газонефтяной смеси [4, 5].

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование прочностных свойств матриц, изготовленных из карбонов двух типов с условными названиями “OLD” и “V15”. Матрица кабеля “OLD” была сплошной без медных проводников (рисунок 1).

При испытаниях матриц из карбонов на радиальное сжатие использовался 3-х тонный винтовой ручной пресс, которым сжимались между двумя пластина образцы кабеля длиной 50 мм [6, 7]. Результаты этих испытаний приведены таблицах 1, 2 и на рисунке 2.

Таблица 1. Результаты исследования кабеля «V15» на радиальное сжатие

Тип кабеля	l_0 , мм	T, °C	F_{\max} , Н	Δ_{\max} , мм	q_F , Н/мм	ε_{\max} , %
V15	50,6	20	2850	0,39	56,3	4,33
V15	51,2	20	2700	0,24	52,7	2,67
V15	50,3	20	3600	0,35	71,6	3,89
V15	52,5	150	2700	0,31	51,4	3,44
V15	50,7	150	2 400	0,35	47,3	3,89
V15	50,4	150	2550	0,45	50,6	5,00

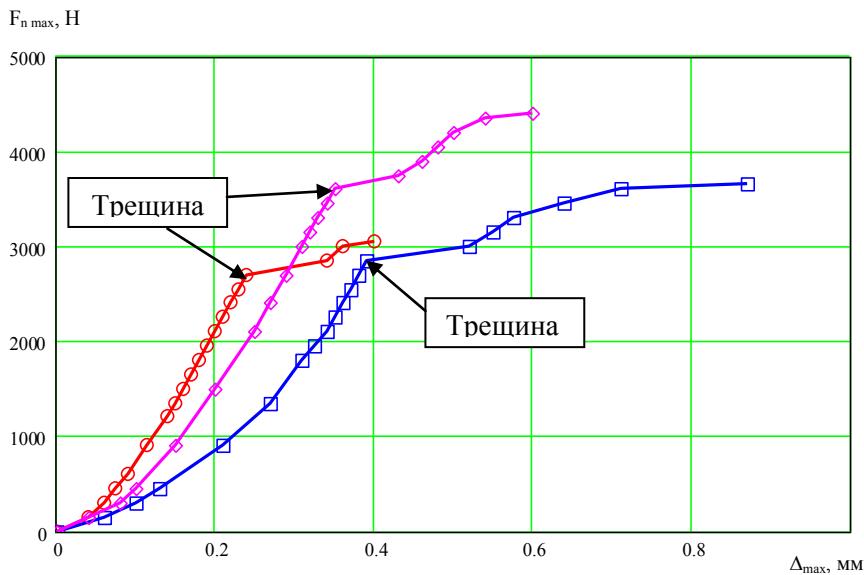


Рисунок 2. Зависимости деформации кабеля «V15» от радиальной нагрузки при температуре 20°C

Измерение усилия осуществлялось кольцевым динамометром с точностью до 3 Н, состоящим из упругого стального кольца, внутри которого закреплен индикатор перемещений с ценой деления 0,001 мм. Контроль осевого перемещения осуществляется по индикатору перемещения с точностью до 0,01 мм. Кабели «V15» и «OLD» исследовались при комнатной температуре. Для каждого типа кабеля исследовалось по три образца.

Наибольший интерес в данном исследовании представляла величина максимальной радиальной нагрузки в момент возникновения первой трещины в кабеле. Кроме того фиксировалась деформация Δ_{\max} в этот момент. Рассчитывались относительная радиальная нагрузка в момент образования трещины и относительная деформация в момент образования трещины ε_{\max} ,

$$q_F = \frac{F_{n \max}}{\ell_0}, \quad (1)$$

где $F_{n \max}$ – радиальная нагрузка, при которой происходило образование трещины.

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\Delta_{\max}}{D} \times 100\%, \quad (2)$$

где D – начальный диаметр кабеля, мм; Δ_{\max} – абсолютная деформация, при которой происходило образование трещины.

Таблица 2. Результаты исследования кабеля «OLD» на радиальное при температуре 20°C

№ п/п	Тип кабеля	l_0 , мм	T, °C	$F_{n \max}$, Н	Δ_{\max} , мм	q_F , Н/мм	ε_{\max} , %
1	OLD	52,2	20	10900	0,28	209	3,11
2	OLD	50,5	20	10800	0,25	214	2,77
3	OLD	51,0	20	10700	0,26	210	2,88

Внешний вид образцов после образования трещины для кабеля «V15» при температуре 20°C приведен на рисунке 3.

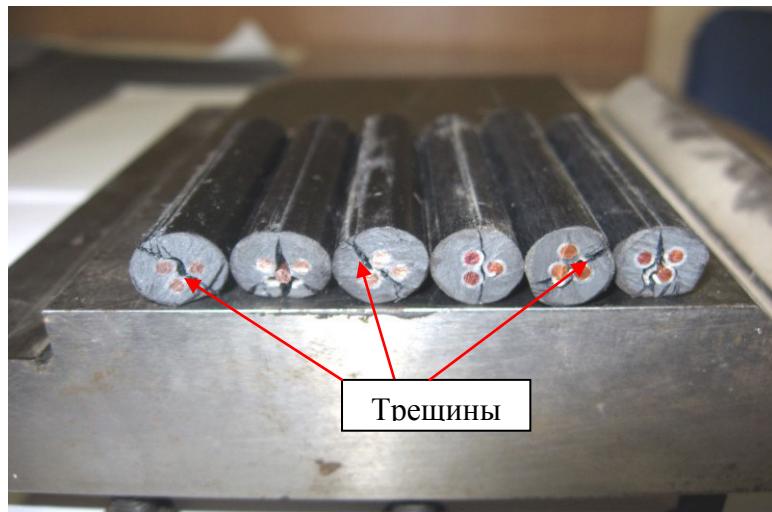


Рисунок 3. Внешний вид образцов после образования трещины для кабеля «V15» при 20°C

В результате проведенных экспериментальных исследований получены данные о максимальных радиальных нагрузках для кабеля с карбоном «V15» и влиянии медных проводников на процесс образования трещины при радиальном нагружении кабеля-толкателя.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Чулкин С.Г., Ашайчик А.А., Селин С.Н. Использование композитных материалов в узлах трения нефтяного оборудования – шаровой запорной арматуры и в кабелях-толкателях // Вопросы материаловедения. – 2012. – №4 (72). – С.240-244.
2. Чулкин С.Г., Ашайчик А.А., Селин С.Н. Применение подшипников из углепластиков в судостроении, турбиностроении, горнодобывающей технике // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2012. – №2. – С. 805-816.
3. Ашайчик А.А., Полонский В.Л. Экспериментальное исследование эластомеров и полимеров для нефтяной промышленности: монография. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015.– 236 с.
4. Ашайчик А.А.Стенд для исследования трибологических свойств материалов.–// Фундаментальные исследования в технических университетах: тезисы докл. XIV Всероссийской конф. СПб, 2010. – Т.1. – С.139-140.
5. Ашайчик А.А. Детали машин и основы конструирования. Справочные материалы по проектированию: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 111 с.
6. Жуков В.А., Ашайчик А.А. Механика. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 70 с.
7. Ашайчик А.А., Самсоненко А.А. Исследование тяговой способности толкателей с резиновыми подушками для нефтяного оборудования. – Современное машиностроение. Наука и образование. – 2018. – № 7. – С. 247-255.

УДК 621.01

Е.И. Аверьянова, И.С. Голубева, В.Л. Полонский
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И СРАВНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРПУСОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕДУКТОРОВ

В данный момент во всех отраслях промышленности широко применяются редукторы. Для подтверждения работоспособности редуктора необходимо производить многочисленные расчеты. Стоит отметить, что расчет трудоемкий и требует сложных вычислений, поэтому

для его облегчения и повышения точности необходимо использовать современный подход. В связи с этим, актуальность работы заключается в расчете корпусов редукторов с помощью программы SolidWorks, которая позволяет произвести расчеты в кратчайшие сроки и с высокой эффективностью.

Целью данной работы является проектирование и дальнейший расчет корпуса одноступенчатого цилиндрического редуктора, а также сравнение полученных данных с редуктором другой конфигурации.

Согласно сборочному чертежу, представленному в справочнике [1], созданы детали одноступенчатого цилиндрического редуктора и осуществлена полная сборка. Модель редуктора представлена на рисунке 1. Данные в исследовании сравниваются с двухступенчатым соосным цилиндрическим редуктором, представленным на рисунке 2.

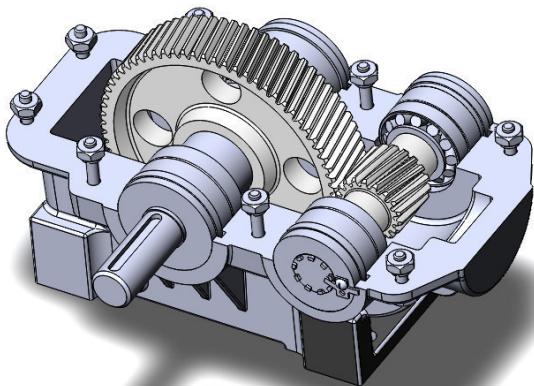


Рисунок 1. Модель одноступенчатого цилиндрического редуктора (верхняя часть условно снята)

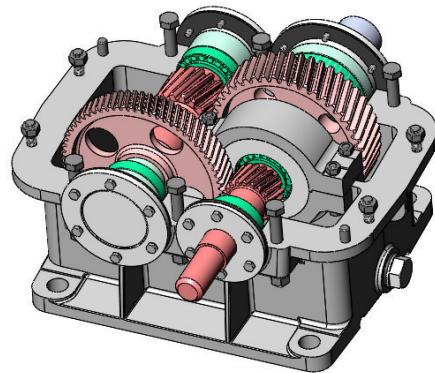


Рисунок 2. Модель двухступенчатого соосного цилиндрического редуктора (верхняя часть условно снята)

Прочностной расчет корпуса редуктора производился в программе SolidWorks с использованием метода конечных элементов. Ключевая идея метода при анализе поведения конструкций заключается в следующем: сплошная среда моделируется путем разбиения ее на области (конечные элементы), в каждой из которых поведение среды описывается с помощью отдельного набора выбранных функций, представляющих напряжения и перемещения в указанной области [2].

Чтобы произвести расчет, необходимо упростить модель редуктора. Из модели исключаются все детали, кроме корпуса и валов. Подшипники условно задаются бобышками на валах. С помощью операции "Линия разъема" в местах шестерни и колеса на валах создается участок, равный длине ступицы для последующего задания усилий.

Для расчёта необходимо задать материалы деталей. Для валов задают материал – «40Х», для корпусных составляющих – «СЧ20». Характеристики материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики материалов

Название материала	40Х	СЧ20
Модуль Юнга, МПа	210000	85000
Коэффициент Пуассона	0,28	0,27
Модуль сдвига, МПа	79000	50000
Предел текучести, МПа	395	–

Модель при расчете представляет собой корпус, у которого верхняя и нижняя части соединены между собой виртуальными болтами. Также нижняя часть корпуса закреплена виртуальными фундаментными болтами к горизонтальной плоскости. Далее необходимо задать на валах усилия, возникающие в зубчатой передаче, и силы, возникающие на торцах валов за счет присутствия муфт [3]. Также производится закрепление валов от перемещения вдоль оси. Усилия и закрепления на корпусе для одноступенчатого цилиндрического редуктора представлены на рисунке 3, а для двухступенчатого соосного цилиндрического редуктора на рисунке 4.

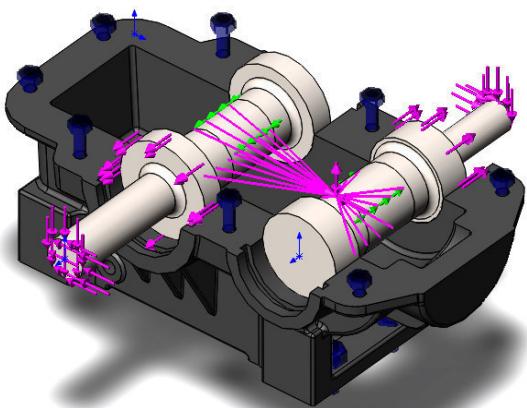


Рисунок 3. Закрепления и усилия на корпусе и валах одноступенчатого цилиндрического редуктора

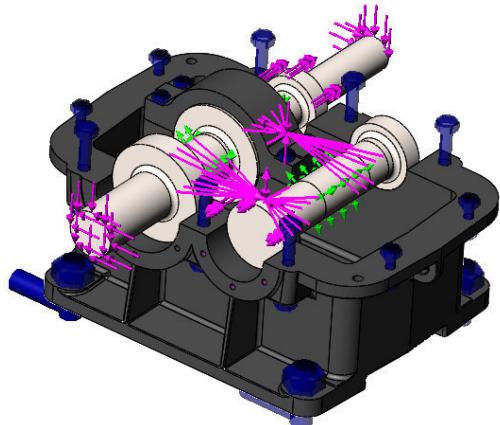


Рисунок 4. Закрепления и усилия на корпусе валах двухступенчатого соосного цилиндрического редуктора

Для оценки расчета на прочность, следует определить коэффициент запаса прочности для корпуса редуктора. В программе SolidWorks для того, чтобы определить коэффициент запаса прочности, следует вывести поле напряжения Мора – Кулона.

Важным в расчете является соблюдение условия прочности [3]:

$$S \geq [S],$$

где $[S]$ - нормативный коэффициент запаса прочности.

В данном расчете $[S]=3$, так как данное значение удовлетворяет характеристикам хрупкого материала, то есть чугуна [3].

Результатом расчета является поле напряжения Мора – Кулона, выведенное программой. На рисунках 5 и 6 отображены минимальные коэффициенты запаса прочности для одноступенчатого и двухступенчатого редуктора соответственно.

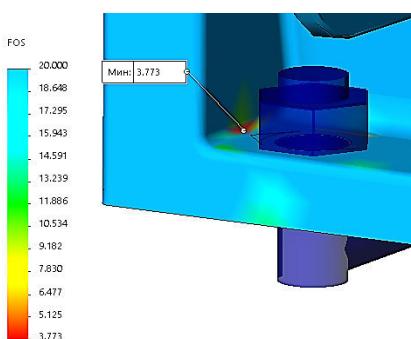


Рисунок 5. Минимальный коэффициент запаса для фундаментных болтов одноступенчатого цилиндрического редуктора

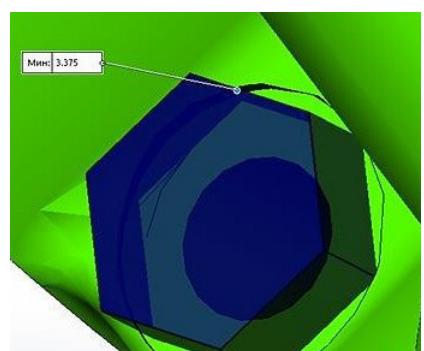


Рисунок 6. Минимальный коэффициент запаса для фланцевых болтов двухступенчатого цилиндрического редуктора

Согласно эпюре минимальный коэффициент запаса прочности для цилиндрического редуктора обнаружен в месте крепления фундаментного болта. Он превышает минимальный порог, равный 3, и составляет 3,773. Минимальный коэффициент запаса прочности для двухступенчатого редуктора также превышает минимальный порог и составляет 3,596. Значение коэффициента обнаружено в вырезе под головку болта, скрепляющего части корпуса. Коэффициент запаса в обоих случаях вошёл в допуск, значит, расчет удовлетворяет условию прочности.

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

1. Коэффициент запаса при расчете корпусов на прочность вошел в допуск, следовательно, обе конструкции редукторов работоспособны.
2. Заметным различием является расположение минимального коэффициента запаса. Стоит отметить, что в редукторах подобных конфигурации следует обращать на данные концентраторы напряжений.
3. Метод конечных элементов является общепринятым и достоверным. Расчеты компьютерных моделей с его помощью более точные, а также значительно упрощают процесс решения задач.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Детали машин и основы конструирования: Учеб. для вузов / А.Т. Скобеда, А.В. Кузьмин, Н.Н. Макейчик; Под общ. ред. А.Т. Скобеды. Минск: Высшая школа, 2000. – 584 с.
2. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер: Пер. с англ. Москва: Мир, 1984. – 428 с.
3. Детали машин. Курсовое проектирование: учебное пособие для техникумов / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва : Высшая школа.
4. Детали машин: учебник для втузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. Изд. 9-е, испр. Москва: Высшая школа, 2005. – 406 с.

УДК 669.002.5

А.А. Стрельникова, М.А. Скотникова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОВОК ЦЕМЕНТУЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА ТРЕНИЕ

Введение. Важной частью современного машиностроения является обеспечение качества продукции, так, например, при производстве цементуемых деталей небольших сечений, работающих на трение: поршневых пальцев, толкателей, конических и цилиндрических шестерён коробок передач и др. Для производства таких деталей широко используются горячекатаные заготовки из стали марки 18 ХГ.

Производство стальных заготовок осуществляется в виде горячекатаного проката с сечением в форме круга диаметром 135 мм, рисунок 1.

Для обеспечения соответствия продукции требованиям нормативно-технической документации на промышленных предприятиях осуществляется входной контроль материалов, закупаемых на производстве, и пооперационный технологический контроль изготавляемой продукции, а также предъявление готовой продукции военному представителю или заказчику [1].

Нередко при проведении металлографического исследования обнаруживаются дефекты металлургического характера, которые проверяются при помощи оптической микроскопии и неразрушающего контроля (ультразвукового, рентгенографического, микрорентгено-спектрального и др.) [2].



Рисунок 1. Горячекатаные заготовки из стали 18ХГ

В данной работе при производстве заготовок из хромомарганцевой стали 18ХГ на поверхности круглого горячекатаного проката диаметром 135 мм были обнаружены дефекты в виде трещин, рисунок 2.

Целью данной работы явилось установление характера дефекта и причин его возникновения.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: проверка химического состава заготовки на соответствие ГОСТ4543-71, исследование структуры материала и установление причины образования дефекта.

Материал и методы исследования. В качестве материала для исследования являлись образцы из горячекатанных круглых заготовок из стали 18ХГ с обнаруженными дефектами на поверхности (в виде трещин).

Исследуемый материал из хромомарганцевой стали 18ХГ относится к классу конструкционных сталей, применяемых для производства цементуемых деталей небольших сечений, работающих на трение.

При производстве круглого проката диаметром 135 мм, литая заготовка из стали марки 18ХГ была подвергнута горячей деформации на прокатном стане 350. Исследование проводилось в два этапа: визуальный осмотр, микроструктурный анализ.

Химический состав исследуемого сплава 18ХГ и механические свойства, согласно ГОСТ4543-71, представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Химический состав исследуемой стали 18ХГ

Марка материала	Массовая доля, %								
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
18ХГ ГОСТ4543-71	0,15- 0,21	0,17- 0,37	0,9- 1,2	до 0,3	до 0,035	до 0,035	0,9- 1,2	до 0,3	Основа

Таблица 2. Механические свойства исследуемой стали 18ХГ при T=20°C

Сортамент	Размер мм	σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ %	Ψ %	Термообработка
Пруток, ГОСТ 4543-71	Ø 15	880	735	10	40	Закалка 880°C, масло, Отпуск 200°C, воздух

При входном контроле круглого проката, на его поверхности были обнаружены дефекты.

Микроструктурный анализ проводили на микроскопе «Neophot 21» на поперечных микрошлифах, изготовленных по дефектной зоне круглых заготовок и проплавленных в 4% спиртовом растворе азотной кислоты.

Результаты работы. Визуальный осмотр поверхности заготовок проката выявил поверхностные дефекты в виде нерегулярно расположенных разрывов на поверхности горячекатанных прутков, расположенных в продольном направлении и распространяющихся вглубь материала. Согласно, атласу дефектов стали, описанный дефект является растрескиванием (рваниной) [3]. Фотография поверхности круглого горячекатаного проката диаметром 135 мм с дефектом в виде трещин представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Поверхность круглого горячекатаного проката диаметром 135 мм с дефектом в виде трещин

Как показал микрорентгеноспектральный анализ, химический состав исследуемой стали 18ХГ соответствовал ГОСТ4543-71.

Для более тщательного изучения глубины залегания и распространения дефектов внутри материала, проводили микроструктурный анализ на поперечных микрошлифах, изготовленных по дефектной зоне заготовки, при увеличении 50x, 100x. Фотографии микроструктуры представлены на рисунке 3.

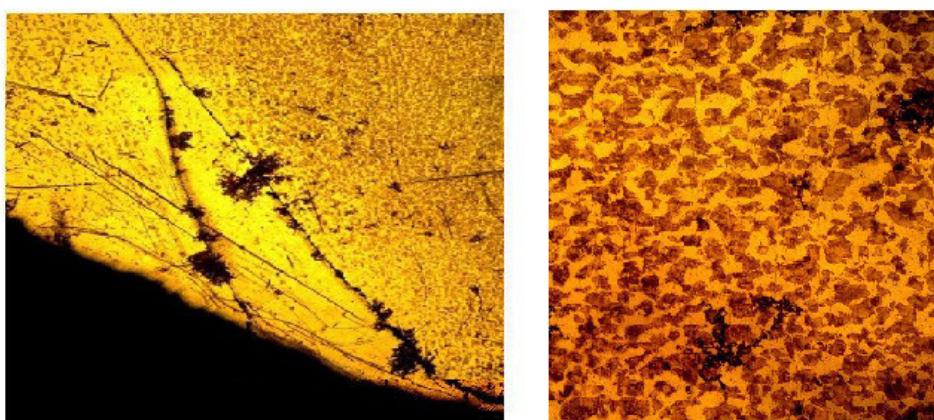


Рисунок 3. Микроструктура с трещинами вблизи поверхности горячекатаной заготовки из стали 18ХГ. (а) – x 50; (б) – x 100.

Структура круглого проката представляла собой пластинчатый перлит + феррит. В поверхностном слое, рисунок 3, видны свободные от цементита обезуглероженные области, в которых наблюдали зарождение и распространение вглубь заготовки разветвлённых

трещин. Глубина дефектов ~ до 3 мм. В зонах дефектов обнаружены обезуглероживание и оксиды.

Заключение. Проведён анализ причин возникновения брака заготовки круглого проката. Дефекты, выявленные на поверхности образца, являются рваниной (трещинами). Согласно атласу дефектов стали, рванина (растрескивание), то есть, нерегулярно расположенные надрывы различной глубины, были сконцентрированы преимущественно у ребер, однако встречались также по всей поверхности. Характер поверхности разрушения был кристаллическим, волокнистым и шиферным [3].

Причинами возникновения растрескивания поверхности могли быть:

- неоднородный химический состав по сечению заготовки - разное содержание углерода, кислорода, марганца, серы, фосфора, хрома;

- наличие концентраторов напряжения в результате резкого изменения формы изделия, то есть, перепады по толщине стенки;

- дефектная поверхность слитков из-за неправильной технологии разливки и наличия грубых включений вблизи поверхности [3].

- возникновение в металле заготовки структурных напряжений первого и второго рода. Напряжения возникают из-за разности объемов, образующихся в процессе горячей прокатки и последующего перепада температур между поверхностными и внутренними слоями при охлаждении, чем и обусловлено возникновение разности напряжений, разрывающих металл.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Усов Л.Ф. Технология металлов и материаловедения. М, «Металлургия», 1987. 800с
2. Капустова М., Титтел В. Исследование влияния температуры нагрева на механические свойства и деформируемость стали типа 18ХГ при неполной горячей деформации. Литьё и металлургия. 2006. 1/139
3. Атлас дефектов стали. Пер. с нем. М., «Металлургия», 1979. 181с

УДК 621.2.082.18

И.Р. Серазутдинов, А.Д. Бреки

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ТРЕНИЯ ВЕРЧЕНИЯ СТАЛЕЙ

Актуальность данной темы состоит в повышении эффективности методов обработки металлов, путем выбора износостойкой стали.

Введение. Касание прижатых друг к другу реальных тел происходит по некоторой площади. Приведению одного из тел во вращение относительно другого препятствуют силы трения скольжения, распределенные по области и определяющие трения верчение.

Предельную величину момента трения принимают прямо пропорциональной прижимающей силе N и определяют формулой [1, 2]:

$$M_{\text{TB}}^{\text{пр}} = f_{\text{TB}} \cdot N, \quad (1)$$

где f_{TB} - коэффициент трения верчения, N - нормальная нагрузка, $M_{\text{TB}}^{\text{пр}}$ - Максимально допустимая величина момента трения верчения .

Коэффициент трения верчения напрямую зависит от коэффициента трения скольжения f .

Момент трения верчения вычисляется из формулы [2]:

$$M_{\text{TB}}^{\text{пр}} = \frac{3\pi}{16} \cdot f \cdot N \cdot a, \quad (2)$$

где a – радиус пятна контакта, f – коэффициент трения скольжения.

Известно, что в случае контакта шара с упругим полупространством, радиус пятна контакта можно приблизительно определить воспользовавшись формулой Герца [3]:

$$a = \left(\frac{3NR}{4E^*} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (3)$$

где R – радиус шара, а E^* определяется из соотношения:

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}, \quad (4)$$

где E_1 и E_2 – модули упругости (Юнга) для тела ограниченного плоскостью и шара, μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона для тела ограниченного плоскостью и шара.

Радиус шара составлял $R \approx 6,36 \cdot 10^{-3}$ м. Модули упругости сталей принимались порядка $E_1 \approx E_2 \approx E_3 \approx 2,1 \cdot 10^5$ МПа. Коэффициенты Пуассона так же принимались порядка $\mu_1 \approx \mu_2 \approx \mu_3 \approx 0,3$. Соответственно, при подстановке исходных данных в (4) имеем $E^* \approx 1,153 \cdot 10^5$ МПа.

Подставляя значения вышеперечисленных параметров в (3) получаем зависимость радиуса пятна контакта от нормальной нагрузки тел из сталей ШХ15 и 10Р6М5 (Р6М5):

$$a = 3,456 \cdot 10^{-5} N^{\frac{1}{3}}. \quad (5)$$

При осуществлении трения верчения идет процесс износа поверхностей и изменение радиуса контакта. В связи с этим, изменение радиуса пятна контакта при трении верчения, может быть выражено следующим образом:

$$a_w(N, t) = a + \Delta a(N, t) = \Delta a(N, t) + \left(\frac{3NR}{4E^*} \right)^{\frac{1}{3}} = \Delta a(N, t) + 3,456 \cdot 10^{-5} N^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

где $a_w(N, t)$ – радиус пятна износа, $\Delta a(N, t)$ – приращение радиуса контакта вследствие износа.

Таким образом, целью работы является выявление закономерностей трения верчения сталей.

Для достижения поставленной цели нужно решить следующие задачи:

1. Разработать методику испытания трения верчения сталей;
2. Произвести испытания трения верчения сталей на сухое трение:

Материалы и методы исследования. Исследование проводились по схеме «шар-плоскость», и осуществляли на машине трения ПБД-40 (рисунок 1).



Рисунок 1. Машина трения ПБД-40

В качестве вращающегося образца использовался стальной шарик марки ШХ-15, диаметром 12,7мм. В качестве неподвижно зафиксированных контртел использовались прямоугольные призмы из стали Р6М5 и 10Р6М5-МП. Образцы зажимались в струбцину, далее их приводили в контактное взаимодействие и осуществляли трение по грани призмы с наибольшей площадью. Далее шар прижимался к призме с силами 145Н, 195Н и 235Н. После, запускали шар в движение, зажатого в цанге , с частотой вращения 850 об/мин. Время одного испытания при каждой нагрузке составляло 600с. В процессе эксперимента момент трения верчения фиксировался с помощью осциллографа и записывался на ЭВМ.

Результаты исследования. Зависимости радиуса пятна износа от времени на шаре при трении ШХ15 по Р6М5 и 10Р6М5-МП, при нагрузках 145, 195 и 235Н, показаны на рисунке 2.

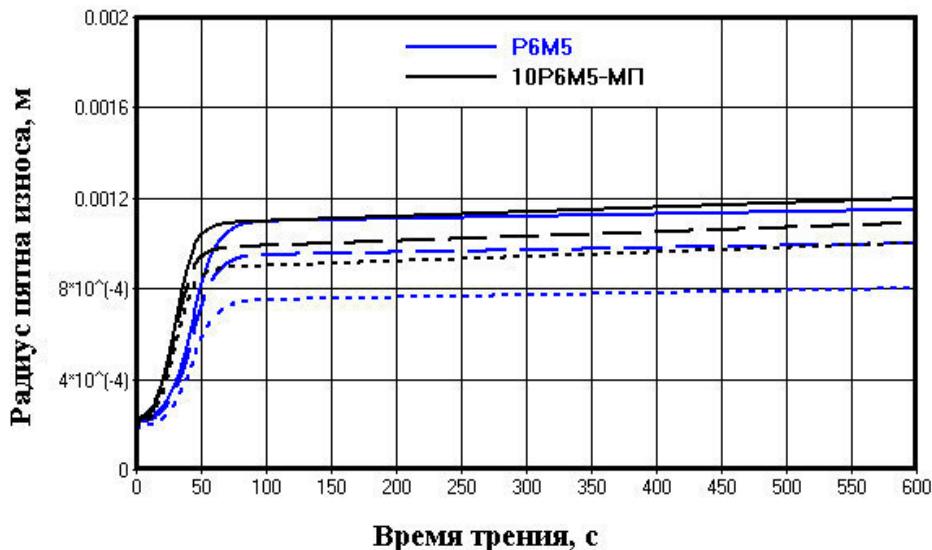


Рисунок 2. Зависимость радиуса пятна износа от времени

Графики зависимости предельного (установившегося) момента трения верчения для сталей Р6М5 и 10Р6М5-МП от нагрузки показан на рисунке 3.

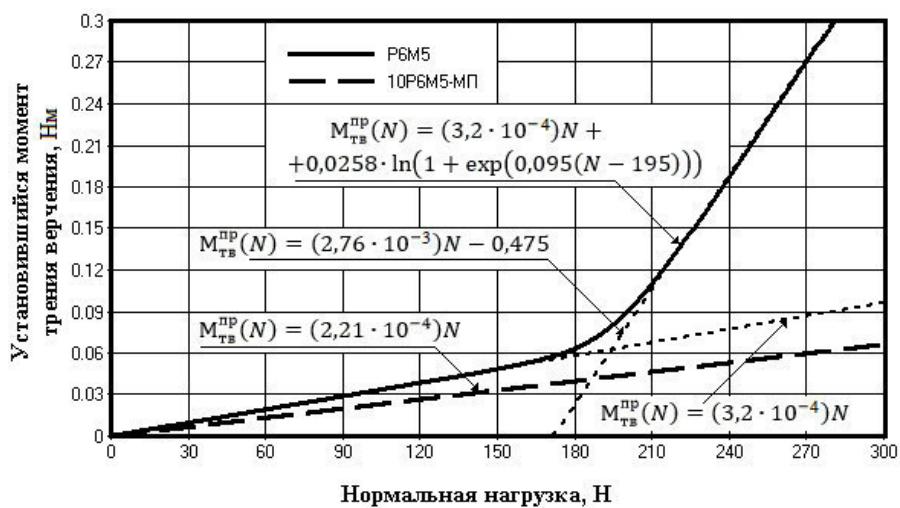


Рисунок 3. Графики зависимости предельного момента трения верчения от нагрузки

1. Установившийся момент трения верчения говорит о установленвшемся режиме изнашивания.

2. Изменение момента трения верчения от нагрузки для стали Р6М5 укладывается в границы двух линейных зависимостей, в отличи от одной линейной зависимости стали 10Р6М5 подобной закону Г. Амтона. И говорит об отсутствии схватывания второго рода в выбранном диапазоне нагрузок.

3. Для стали Р6М5 в полученной зависимости момента трения верчения от нормальной нагрузки можно выделить линейные участки, обусловленные тангенциальной составляющей равнодействующей сил молекулярного притяжения поверхностей взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики: В 2-х томах. Т. I. Статика и кинематика. - 8-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 352 с.
- 2 Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. - М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 304 с.
3. Попов В.Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения. От нанотрибологии до динамики землетрясений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 352с.

УДК 62-396

А.К. Мешков, Н.А. Шубин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОНСТРУИРОВАНИЕ ТРЕХРЫЧАГОВОГО СОЕДИНИТЕЛЬНОГО ХОМУТА ДЛЯ ПОДВОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Введение. Система подводной нефтедобычи активно развивается и требует современных конструкционных и технологических решений для эффективного использования. Важным узлом механизма является соединительный хомут трубопровода для съемных модулей. Актуальным решением является предложенный трехзвеный хомут цангового типа (рисунки 1, 2), управляемый механической передачей винт – гайка [1] для соединения двухканальной муфты большого диаметра, выдерживающий большие давления (до 103 МПа).

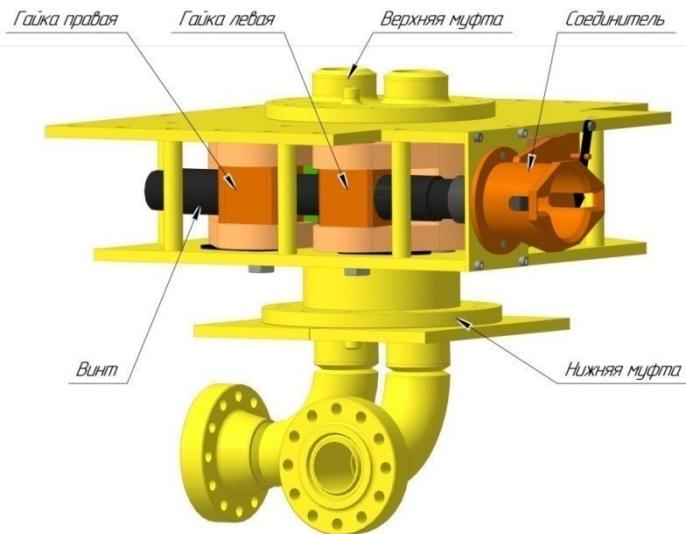


Рисунок 1. Модель трехрычагового соединительного хомута

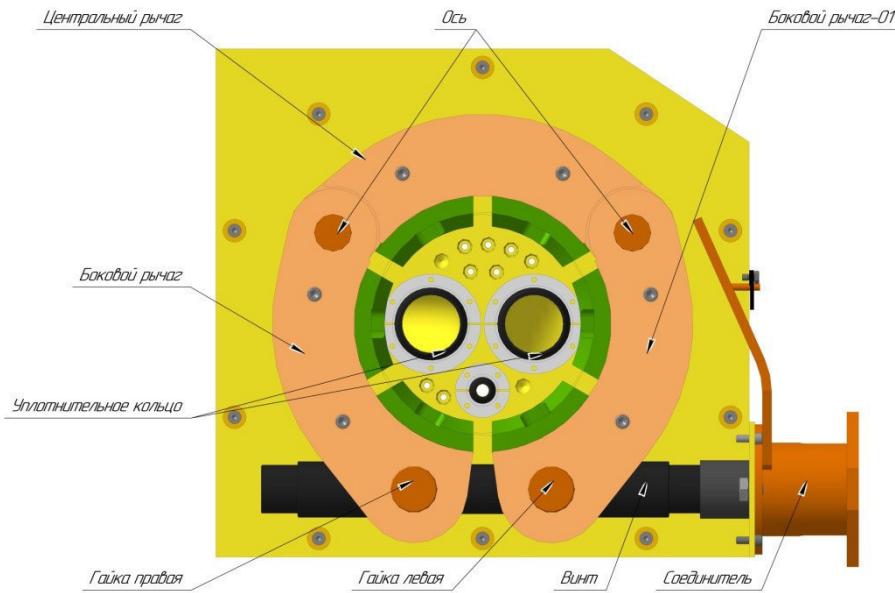


Рисунок 2. Модель трехрычажового соединительного хомута без верхней крышки и верхней муфты

Целью работы является разработка практического дизайна конструкции и уплотнения между соединяемыми полумуфтами, для дальнейшей оценки герметичности соединяемых элементов.

Отсюда можно выделить основную задачу: выбор геометрических параметров уплотнений и их расчет на критерий герметичности [2].

Прочностной расчет хомутового соединения выполнен методом конечных элементов в программном обеспечении *Abaqus 6.14-5*. Полумуфты труб и круговые сегменты выполнены из конструкционной стали 10Х2М, уплотнительное кольцо: ХН75МБТЮ. Конечно элементная модель представлена на рисунке 3

Границные условия ограничивают поверхности полумуфт по степеням свободы, условия симметрии приложены по поверхностям среза, наглядное изображение на рисунке 4.

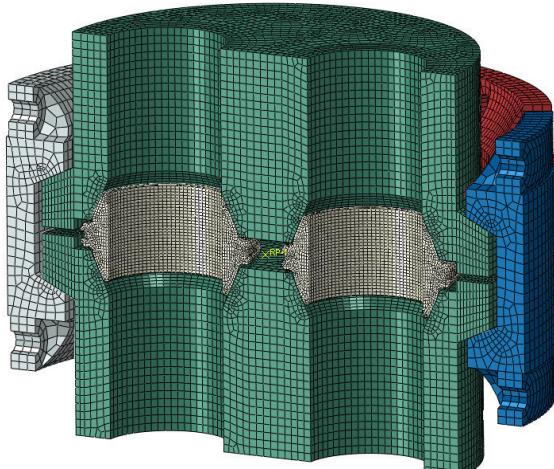


Рисунок 3. Модель с созданной структурной сеткой

Количество элементов – 105 614,
количество узлов – 123 885

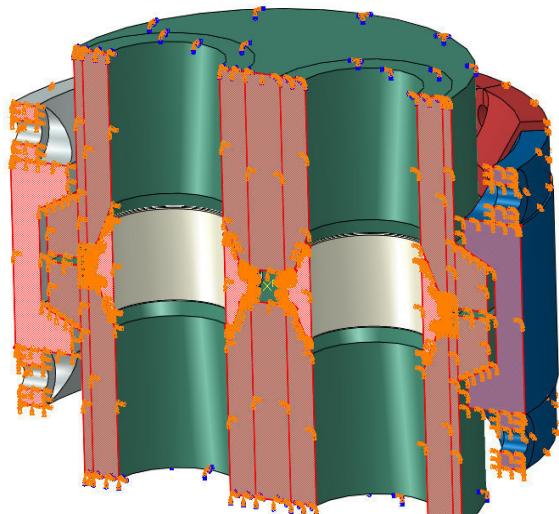


Рисунок 4. Заданные граничные условия для решения поставленной задачи

Между уплотнительным кольцом и полумуфтами задан коэффициент трения 0.08 (серебро-сталь), в остальных случаях 0.01 (сталь-сталь). Критерием герметичности является условие, при котором минимальное давление между уплотнительным кольцом и полумуфтами должно в 2 раза превышать рабочее давление для герметичности соединения [3]. В нашем случае минимальное контактное давление равно:

$$P_{cont} = 69 \text{ МПа} \times 2 \times 1,5 = 207 \text{ МПа} \quad (1)$$

Дополнительный коэффициент 1.5 учитывает условия тестирования.

Расчет хомута с приложенным внутренним давлением

Посчитана модель с кольцом и приложенным внутренним давлением 103.5 МПа.

Давление приложено при радиальной силе 3000 кН

К верхней полумуфте приложена концевая растягивающая сила от давления:

$$F = P \times A = P \times \frac{\pi d^2}{4} = 1260 \text{ кН} \quad (2)$$

При приложении радиальной силы 3000 кН на кольце создается полоска с контактными напряжениями примерно 80 МПа, после приложения внутреннего давления контактные напряжения в полосе контакта выше 138 МПа (Рисунок 5). Таким образом условие герметизации приложенном давлении выполнено.

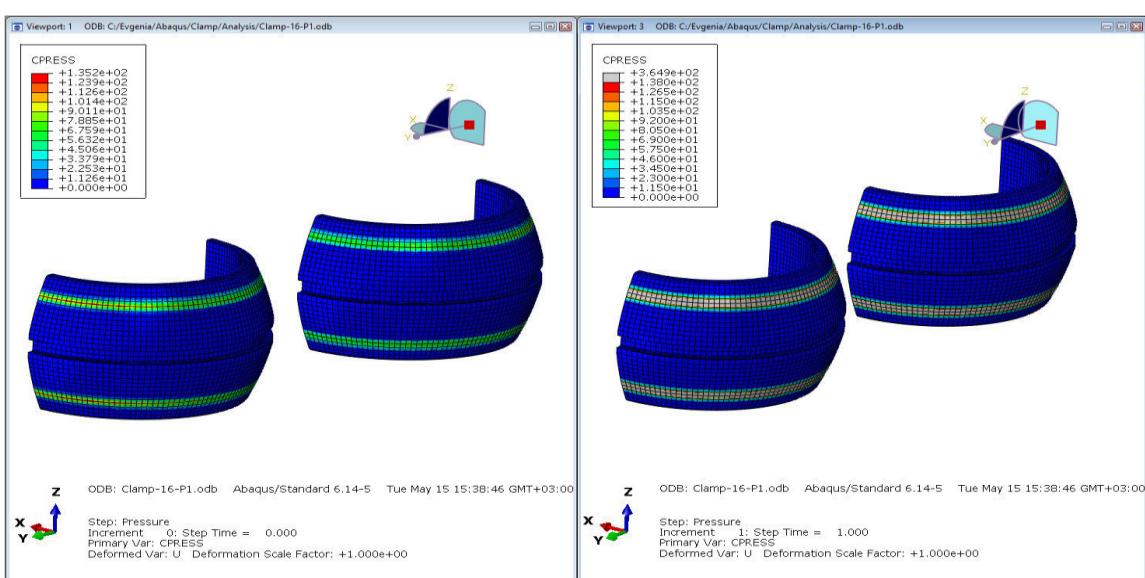


Рисунок 5. Распределение контактных напряжений в кольце до (слева) и после (справа) приложения давления, МПа

Выходы:

1. Предложен вариант дизайна соединительного хомута.
2. Подобрана удовлетворяющая критериям герметизации геометрия уплотнительного кольца.

Расчет показал, что условие герметичности выполняется при контактной силе (6000 кН) в два раза больше заданной радиальной силы (3000 кН), что соответствует поставленному условию.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин, Учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений - 11 изд - М.: Изд. центр "Академия", 2008. 496 с.
2. Айзикович С.М., Александров В.М. и др. Контактные задачи теории упругости для неоднородных сред, Трубчик. - М.: Физматлит, 2006. -240 с.
3. BS EN ISO 13628-7:2006, 254 с.

РАСЧЕТ КОРПУСА И ВАЛОВ РЕДУКТОРА НА ЖЕСТКОСТЬ С ПОМОЩЬЮ SOLIDWORKS

Введение. Редукторы широко применяются в машиностроении, а значит, существует проблема оптимизации и облегчения их расчетов [1]. С помощью программы SolidWorks расчет возможен в более короткие сроки, при этом, обеспечивая достаточную точность [2].

Целью является расчет на жесткость корпуса и валов редуктора. Материал редуктора: СЧ20, валов сталь 40Х.

Задачей исследования редуктора на жесткость является определение перемещений, которые должны быть не больше допускаемых.

Жесткость оценивается перекосом седел подшипников (их перемещением по X и Y), которое определяется зондированием на полях деформации.

Границные условия виртуально закрепляют редуктор в соответствии с реальными условиями. Они отображены на рисунке 1 ниже.

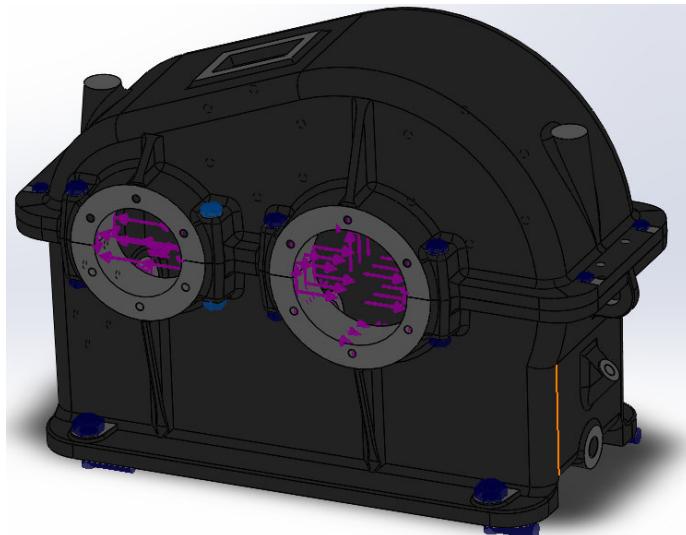


Рисунок 1. Модель редуктора с граничными условиями

После определения перемещения по 2 осям оценивается угол перекоса, определяемый по формуле 1:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{h} \right) \cdot \frac{180 \cdot 60}{\pi} \quad (1)$$

Эпюры перемещений выведенные с помощью программы SolidWorks приведены на рисунке 2. Максимально допустимый угол перекоса для конических и радиальных подшипников без модифицированного контакта =2...4° Ни один подшипник не превысил данных значений.

В таблице 1 зафиксированы результаты смещения кромок по двум осям, а в формуле 2 пример расчета.

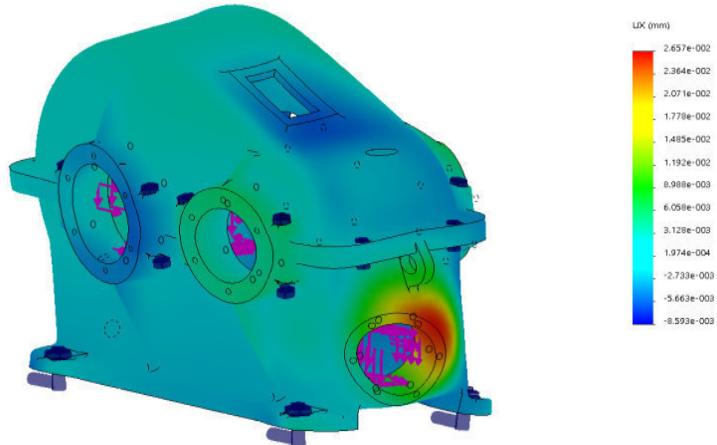


Рисунок 2. Поля деформации по оси X

Таблица 1. перемещения кромок сёдел подшипников выходного вала, мкм

	Левый подшипник			Правый подшипник		
	1 кромка	2 кромка	Δ	1 кромка	2 кромка	Δ
Y	-7.58	-1.48	6.10	19.83	32.00	12.17
X	-2.70	1.08	3.78	-2.73	-6.43	3.70

$$\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{\sqrt{0.102^2+0.104^2}}{61000}\right) \cdot \frac{180 \cdot 60}{\pi} = 0.46' \quad (2)$$

При расчете валов на жесткость внимание уделяется именно граничным условиям, чтобы при симуляции условия были схожи с реальными.

Граничные условия: диаметр вала под ступицей изменяется согласно посадке H7/p6, посадочные места подшипников закрепляются от радиального расширения, крайняя шейка вала закрепляется во избежание прокручивания. Усилия тоже являются немаловажными: сила муфты задается с помощью компонентов X и Y; дистанционная нагрузка задается с помощью созданной системы координат на ступицу вала.

Аналогично способу ранее вычисляется угол перекоса подшипников, зондируя по кромкам шеек вала, на которых находятся подшипники, при расчете угла за ширину седла под подшипник принимается вся длина шейки вала, на котором находится подшипник.

На рисунке 3 визуально отображен пример проверки значений на шейке вала. В таблице 2 приведены полученные значения, для вычисления также используется формула (2). Угол перекоса не должен превышать 2°

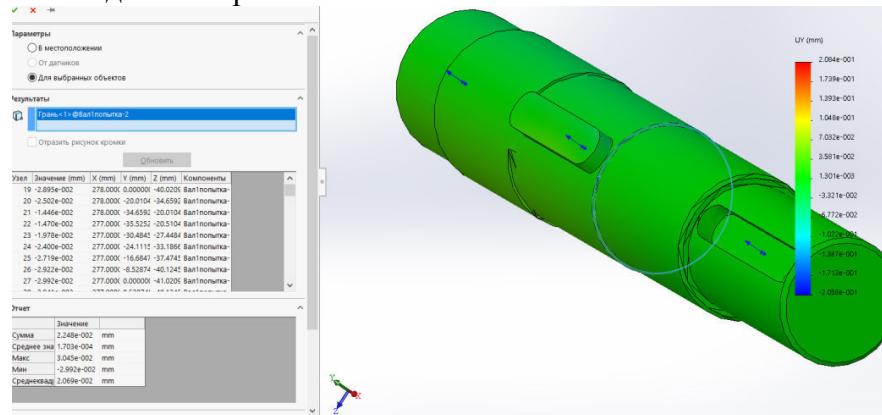


Рисунок 3. Пример зондирования выходного вала по Y

Таблица 2. Перемещения кромок выходного вала, мкм

	Левый подшипник			Правый подшипник		
	1 кромка	2 кромка	Δ	1 кромка	2 кромка	Δ
Y	-0,04	0,064	0,104	0,17	0,015	0,155
Z	0,0035	0,11	0,107	-2	-2,5	0,5

$$\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{\sqrt{0,104^2 + 0,107^2}}{61000}\right) \cdot \frac{180 \cdot 60}{\pi} = 0,48'$$

Также оценивается перемещение участков вала под ступицу с помощью зондирования поверхности по оси вращения. Суммарное перемещение дают изменения межосевого расстояния, которое равно $\Delta a_w = U_{z1} + U_{z2}$. [3]

Оно не должно превышать $0,01\text{m}=0,06$ мм, где m модуль зубчатого колеса. В таблице 3 приведены результаты расчета.

Таблица 3. Результаты расчета

	$U_{z1}, \text{мм}$	$U_{z2}, \text{мм}$	$\Delta a_w, \text{мм}$
Полученные значения	0,0011	0,004	0,0051

Выводы:

- Угол перекоса подшипников лежит в пределах допуска.
- Валы прошли проверку на жесткость, т.к. угол перекоса не превысил $2'$, а изменение межосевого расстояния не превысило критического значения 0,06 мм.
- Расчет в SolidWorks возможен и является корректным.

ЛИТЕРАТУРА:

- КурмазЛ.В., Скобейда А.Т. Детали машин. Проектирование 2005г. 309с.
- АлямовскийА.А.,SolidWorks Simulation 2015г. 562с.
- Иванов М.Н.,Финогенов В.А. Детали машин 2008г. 410с.

УДК 621.81:539.4

И.С. Голубева, Е.И. Аверьянова, В.Л. Полонский
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И СРАВНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАЛОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕДУКТОРОВ

Редукторы широко применяются в машиностроении, поэтому актуально повышение эффективности проверочных расчетов характеристик редукторов, в частности путем создания и расчета компьютерных моделей с применением метода конечных элементов. Для валов редуктора чаще всего именно прочностной расчет выполняют в качестве проверочного [1], а основными нагрузками на них считаются силы от зубчатых передач [2].

Целью данной работы является моделирование и дальнейший расчет двухступенчатого соосного редуктора, а также сравнение полученных результатов с результатами для редуктора другого типа.

В процессе построения моделей были использованы сборочные чертежи, приведенные в учебном пособии [3] и программный пакет SolidWorks, включая библиотеку ToolBox. Модели представлены на рисунках 1, 2 (крышки редукторов для наглядности скрыты).

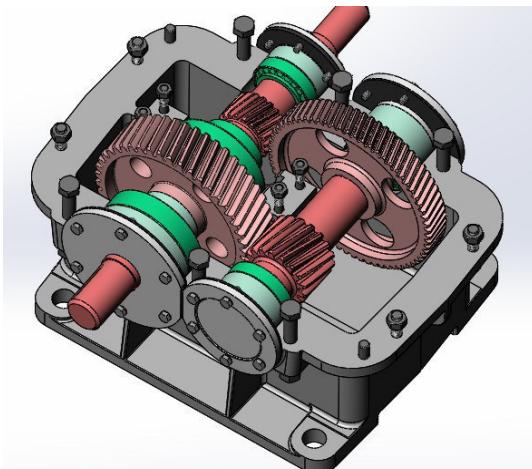


Рисунок 1. Модель двухступенчатого соосного редуктора

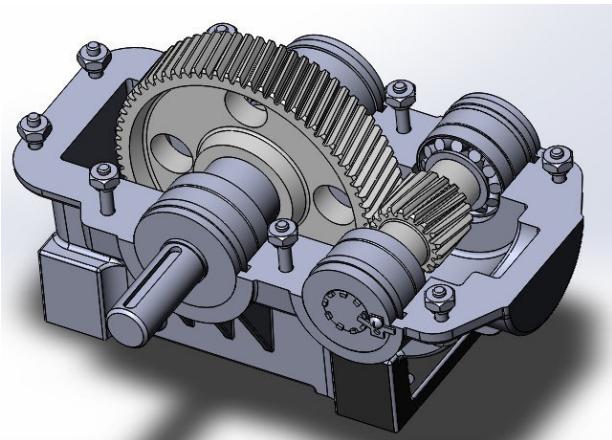


Рисунок 2. Модель одноступенчатого редуктора

Прочностной расчет вала двухступенчатого редуктора проводился в программе SolidWorks с использованием метода конечных элементов. Ключевая идея метода заключается в следующем: сплошная среда моделируется путем разбиения ее на области (конечные элементы), в каждой из которых поведение среды описывается с помощью отдельного набора функций, представляющих напряжения и перемещения в указанной области [4]. Рассчитывался выходной вал в целях проведения аналогичных расчетов для редуктора другой конфигурации.

Модель для расчета, представленная на рисунке 3 (на рисунке 4 – для одноступенчатого редуктора), представляет собой вал с закрепленной на нем ступицей зубчатого колеса при помощи шпоночного соединения. Чтобы произвести расчеты, было необходимо закрепить модель от возможных перемещений, задать усилия в зубчатом зацеплении и силы, возникающие на выходном торце за счет муфты. Также был задан материал для валов – Сталь 40Х. Характеристики материала, которые учитывались программой в процессе расчета, представлены в таблице 1. Предел прочности для данного материала составляет 330 МПа.

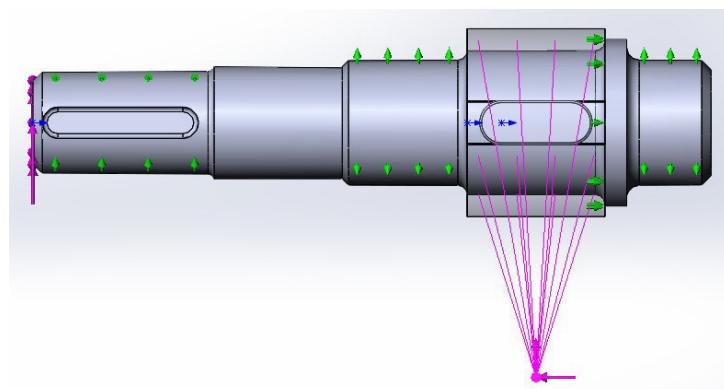


Рисунок 3. Закрепления расчетной модели для двухступенчатого редуктора, вид сверху

Результатом расчета является поле напряжений, выведенное программой (рисунок 5). Согласно данной эпюре, наибольшее напряжение равняется 180 МПа (что не превышает 330 МПа).

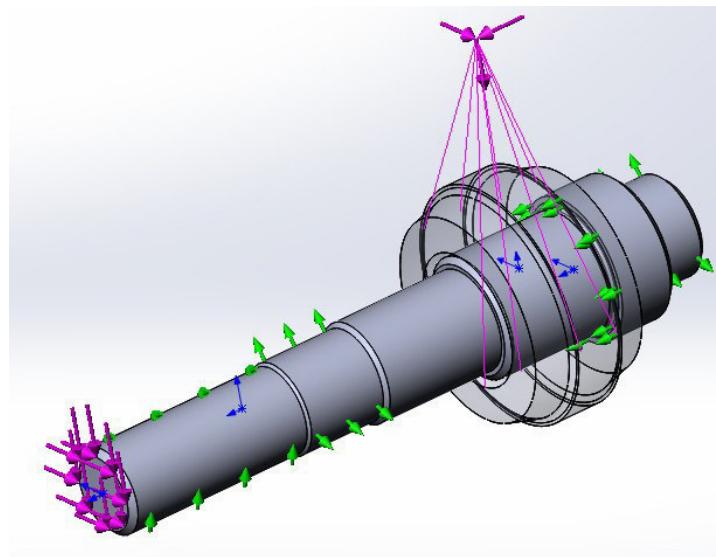


Рисунок 4. Закрепления расчетной модели для одноступенчатого редуктора

Таблица 1. Характеристики материала Сталь 40Х

Модуль Юнга	210000 МПа
Коэффиц. Пуассона	0,28
Модуль сдвига	79000 МПа
Предел текучести	620 МПа

На рисунке 6 представлен результат расчета, проведенного аналогично предыдущему, для выходного вала одноступенчатого редуктора. Здесь наибольшее напряжение также не превышает допускаемого и равняется 242 МПа.

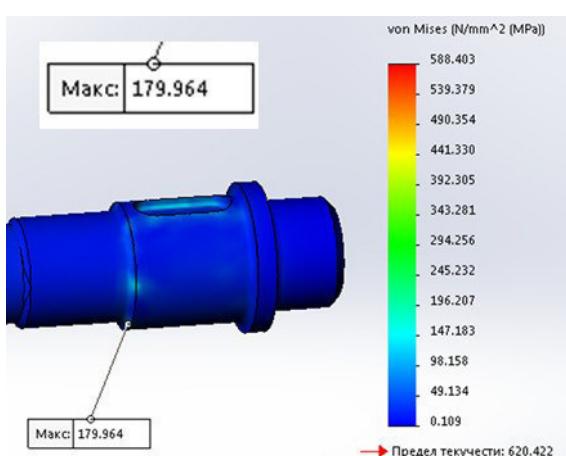


Рисунок 5. Результат расчета для двухступенчатого редуктора

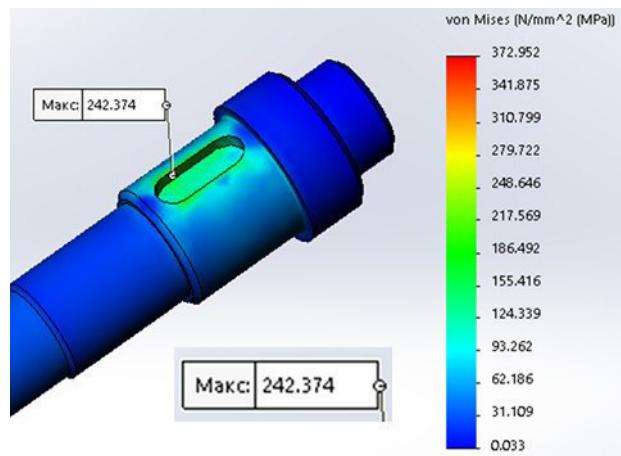


Рисунок 6. Результат расчета для одноступенчатого редуктора

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

1. Для данных редукторов очевидным различием является расположение максимальной нагруженной точки: в двухступенчатом редукторе максимальное напряжение обнаруживается в скруглении на границе шеек вала, а в одноступенчатом – в шпоночном

пазу. Это является основанием для того, чтобы при проектировании редукторов подобных конфигураций обращать внимание на данные концентраторы напряжений соответственно.

2. Ни одно из максимальных напряжений не превысило допускаемого для использованного материала, следовательно обе конструкции редукторов работоспособны.

3. Так как метод конечных элементов является общепринятым и достоверным, расчеты компьютерных моделей с его помощью имеют место быть, и, как было выяснено, являются эффективными и значительно упрощают процесс выполнения различных задач.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Детали машин: учебник для вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. Изд. 9-е, испр. Москва: Высшая школа, 2005. – 406 с.
2. Детали машин. Курсовое проектирование: учебное пособие для техникумов / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва : Высшая школа.
3. Детали машин и основы конструирования: Учеб. для вузов / А.Т. Скобеда, А.В. Кузьмин, Н.Н. Макейчик; Под общ. ред. А.Т. Скобеды. Минск: Вышэйшая школа, 2000. – 584 с.
4. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер: Пер. с англ. Москва: Мир, 1984. – 428 с.

УДК 620.1.051

М.В. Козлов, Е.В. Зaborский

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МАЛОГАБАРИТНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ МАШИНА ТРЕНИЯ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Информация об износе помогает оценить состояние детали, узла машины или оборудования, благодаря которой можно не только не допустить аварии, но и увеличить долговечность машины. Однако известные методы измерения износа подразумевают под собой периодический разбор узла трения для извлечения образцов, чтобы провести измерения. Таким образом, после каждой новой сборки узла трения и запуска испытательной установки, детали проходят этап приработки. Это в свою очередь, влияет на срок службы [1].

Цель работы – конструирование лабораторной машины трения для мониторинга износа и коэффициента трения без его периодической разборки, чтобы избежать этапа приработки после каждого измерения износа.

Для достижения поставленной цели были решены 3 задачи: энерго-кинематический расчет и подбор мотор-редуктора, выбор датчиков для непрерывного снятия показаний износа на машине трения, разработка 3D-модели установки.

По результатам энерго-кинематического расчета был выбран мотор-редуктор NMRV030 с электродвигателем АИР63А4 мощность 0,12 кВт и частотой вращения 1400 об/мин [2]. Расчет производился при условии, что нагрузка на образцы равна 120 Н (12 кг), а коэффициент трения 0,25. Частота вращения образцов 280 об/мин.

При выборе датчиков для непрерывного снятия показаний износа на машине трения были рассмотрены три варианта. Первым вариантом датчиков для мониторинга износа были емкостные датчики. Однако диапазон работ датчиков, представленных на рынке не соответствует необходимой точности. Он составляет 3-5 мм [3]. В нашей работе необходима точность до микрометров.

Следующим вариантом для рассмотрения стали самодельные емкостные датчики. Они представляли собой модель простейшего конденсатора. Однако в результате расчётов в программе Matcad 15, было установлено, что при небольших габаритах датчика его емкость слишком мала для измерения доступными приборами.

В качестве третьего варианта был рассмотрен метод непосредственного измерения линейного износа с помощью электронно-цифрового индикатора, позволяющего осуществлять мониторинг износа без разборки узла трения (рисунок 1).



Рисунок1. Вид электронно-цифрового индикатора

Предел измерений индикатора составляет 0-12,5 мм. Цена деления 1 мкм. Суммарная ошибка ± 3 мкм. Вес 95 грамм [4]. По принципу работы он аналогичен электронным микрометрам. Как по габаритам, так и по точности измерений это удовлетворяет требованиям проектируемой машины трения.

Основным этапом создания модели лабораторной машины трения является создание элементов. В программе Компас – 3D, в приложении «Валы и шестерни 3D», были построены модели зубчатых колес, остальные детали машины были созданы в программе SolidWorks [5]. Стоит отметить, что данная машина трения двухпозиционная, что позволяет увеличить точность измерений при испытаниях одного материала, или испытывать 2 различных материала одновременно при одинаковых условиях. На основе модели машины трения (рисунок 2) был разработан комплект технической документации, включающей сборочный чертёж и спецификацию.

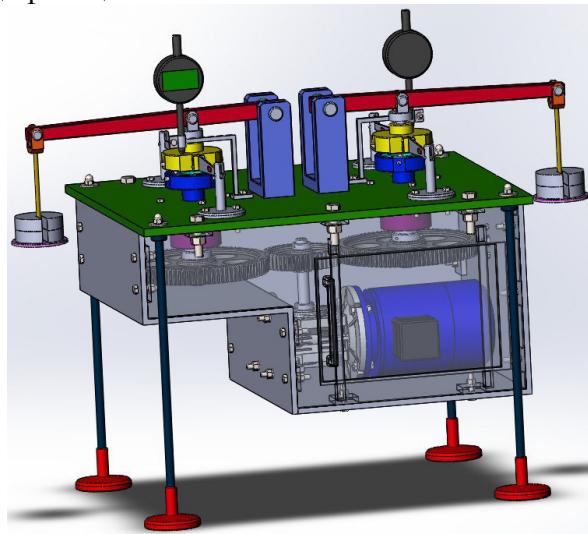


Рисунок 2. Модель лабораторной машины трения

В результате выполнения поставленных задач была создана 3-D модель малогабаритной лабораторной машины трения однонаправленного вращательного действия.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кукина А.А. Исследование разрушения поверхности керамических упорных подшипников при трении без смазки: магистерская диссертация / А.А. Кукина; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт metallurgii, машиностроения и транспорта, Кафедра «Машиноведение и основы конструирования». — Санкт-Петербург, 2015.
2. Червячный мотор-редуктор NMRV 030: каталог мотор-редукторов. Интернет-магазин «Техпривод». ООО «Компания Техпривод» — <URL:<https://tehprivod.su/katalog/motor-reduktory/chervyachnye-motor-reduktory/chervyachnye-motor-reduktory-nmrv/030.html>>.
3. Принцип действия. Типы емкостных датчиков: лекции ТСАиУ; Нижнекамский химико-технологический институт Казанского государственного технологического университета — <URL:<https://studfiles.net/preview/2609464/page:32/>>.
4. Индикаторы ИЧЦ 0-12,5x0,01 0-12,5x0,001 цифровые IP 65 с Mini USB выводом данных Vogel: каталог измерительных инструментов. Интернет-магазин «Wikselen». Инstrumentальная компания «Викселен» — <URL:<https://www.wikselen.ru/shop/indikatory-tsifrovye-indikatoryi-vogel-tsifrovye-s-vyivodom-danniyih-mini-usb/>>.
5. 3D-модель «Червячный мотор-редуктор NMRV030» (габаритная модель): 3-D модели червячных редукторов. Интернет-портал «СВ - ONLINE» — <URL:<http://www.cb-online.ru/3d-modely/motor-reduktor/3d-cherviyachniy-reductor/>>.

УДК 621.313.12

А.К. Мешков, А.А. Москалец

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ КОЛЕБАНИЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА

Введение. Для питания различных электроприборов при отключении электроэнергии используют автономную электросеть, иначе называемую электрогенератором. Они представляют собой технические устройства, способные вырабатывать электричество, потребляя при этом различные продукты сырья, такие как: бензин, дизельное топливо или газ.

Но для оценки корректности работы самого агрегата проводится ряд испытаний, в частности, на работоспособность. На рисунке 1 показан стенд для таких испытаний.

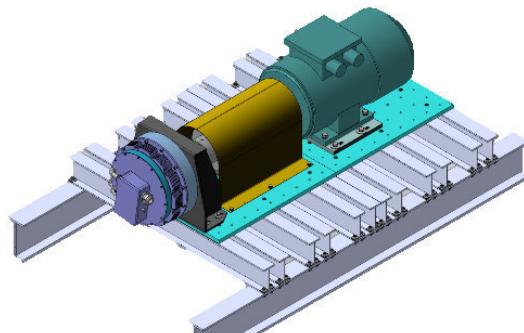


Рисунок 1. Модель стенда для испытания электрогенератора

Одной из проблем, возникающих при работе электромашин, являются механические колебания, основными источниками которых являются неуравновешенный ротор,

коллекторный узел и подшипники качения. Дисбаланс ротора, возникающий от некачественной сборки узла, вызывает колебания с частотами [1].

Таким образом, целью работы является анализ описанных выше колебаний и оценив усилия, возникающие в установке: переменные усилия, возникающие при ее работе, могут «отрывать» конструкцию от пола, если они по величине больше усилий, возникающих под действием собственного веса конструкции.

Для достижения поставленной цели нужно решить следующие задачи:

1. Расчет собственных частот основания установки;
2. Определение реакций в верхних двутавровых балках:

2.1. Нахождение собственных частоты балок с помощью уравнения Бернулли-Эйлера;

2.2. Решение уравнения вынужденных колебаний балок методом разложения по собственным формам;

2.3. Нахождение реакций.

3. Определение реакций в нижних двутавровых балках с последующим их сравнением с реакциями в верхних балках.

Поставленные задачи решаются методом, опирающимся на общую теорию механических колебаний [2] и теорию балок [3].

Основные расчетные формулы.

Реакции в верхних двутавровых балках можно найти из решения классического уравнения Бернулли-Эйлера для вынужденных колебаний:

$$\rho \ddot{u} + au^{(IV)} = q(x) \sin \Omega t, \quad (1)$$

где u – величина прогиба, ρ – погонная масса, a – изгибная жесткость, $q(x)$ – распределенная нагрузка вдоль всей балки, Ω – частота нагрузки, t – время.

Балка считается жестко закреплённой с обеих сторон (в местах крепления балок к нижним балкам). Это соответствует граничным условиям:

$$u(0) = 0, u'(0) = 0, u(L) = 0, u'(L) = 0 \quad (2)$$

Эти реакции могут «отрывать» конструкцию от пола, поскольку являются переменными. Их сумму нужно сравнить с реакциями опор в нижних балках. На основании этого можно будет сделать вывод, стоит ли закреплять установку или же действие переменных усилий незначительно по сравнению с весом всей установки.

Динамическая нагрузка на верхние двутавровые балки.

На каждую из двенадцати верхних двутавровых балок действует различная по характеру и величине нагрузка $q(x)$ (в связи с конструктивными особенностями испытательной установки).

Обобщать и делать равнозначную и равно-распределённую нагрузку в этом случае не допускается, т.к. разница между областями слишком большая и имеет разный характер.

Модальный анализ верхних двутавровых балок.

После того как все условия заданы, можно перейти к модальному анализу балок.

Прежде чем перейти к исследованию вынужденных колебаний балок и нахождению динамических реакций, нужно найти собственные частоты и формы балок.

Знание собственных частот важно потому, что при совпадении одной из них с частотой нагрузки как бы исчезает жесткость конструкции.

Собственные частоты и формы балки находятся из решения дифференциального уравнения свободных колебаний балки Бернулли-Эйлера:

$$\rho \ddot{u} + au^{(IV)} = 0 \quad (3)$$

Система граничных условий (3) дает четыре уравнения с четырьмя неизвестными константами. Собственные частоты находятся из решения характеристического уравнения,

т.е. из условия равенства нулю определителя матрицы коэффициентов перед неопределёнными константами.

Полученное характеристическое уравнение является трансцендентными и может быть решено только численно. С помощью компьютерной математики можно изобразить решение этого уравнения (рисунок 2):

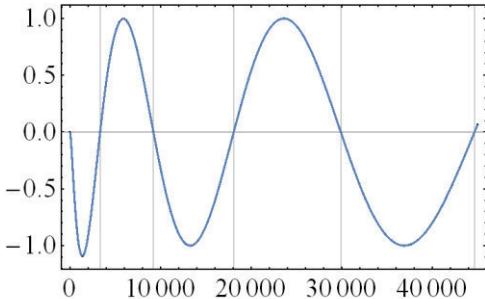


Рисунок 2. График левой части частотного уравнения для верхней двутавровой балки

Точки пересечения с горизонтальной осью соответствуют значениям собственных частот. Для их численного нахождения нужно задать начальные приближения, которые определяются по графику «на глаз», в дальнейшем их точное значение находится через команду в технической вычислительной системе.

В этом разделе была выполнена поставленная задача по нахождению собственных частот. Результат приведен в таблице 1.

Таблица 1. Результат расчета на собственные частоты

№	Собственная частота	
	ω , Рад/с	ω , Гц
1	3 350	530
2	9 230	1 470
3	18 090	2 880
4	29 900	4 760
5	44 660	7 100

Вынужденные колебания верхних двутавровых балок.

Уравнение вынужденных колебаний (1) можно решить методом разложения по собственным формам, представив решение в виде:

$$u(x,t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i(t) U_i(x) \quad (4)$$

где коэффициенты $\alpha_i(t)$ – главные координаты, $U_i(x)$ – нормированные собственные формы. Главные координаты находятся из решения соответствующих дифференциальных уравнений:

$$\ddot{\alpha}_i + \omega_i^2 \alpha_i = Q^T U_i \quad (5)$$

Зная главную координату и величину прогиба, можем найти итоговое решение и построить по нему график прогиба балки (рисунок 3).

Определение динамических реакций в верхних двутавровых балках. Нахождение суммарной реакции.

Прежде чем найти реакции развивающиеся в опорах балки, выражим внутренней силы из ранее найденной величины прогиба балки

$$F(x) = -EJ u''' \quad (6)$$

Реакции являются явлением противоположным и равнозначным возникающих внутренних сил, в нашем случае динамическим.

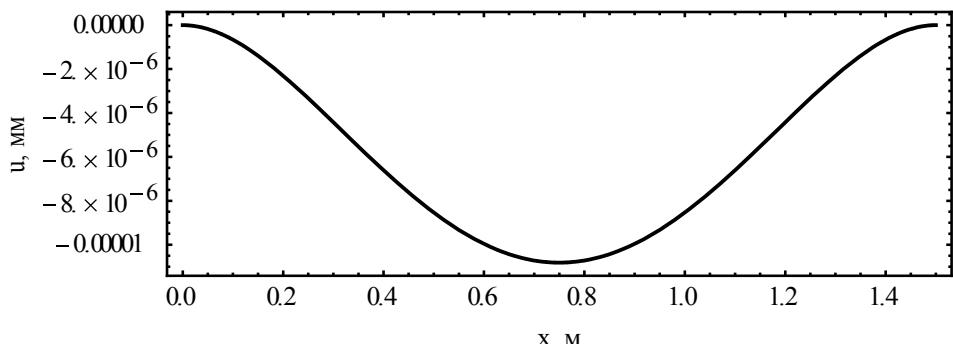


Рисунок 3. График прогиба одной из балок в момент времени $t=3''$

Найдем максимальное значение реакции для каждой из балок и выведем это в виде таблицы 2.

Таблица 2. Реакции, возникающие в каждой из 12-ти балок

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$R, \text{Н}$	694	694	364	364	364	364	1110	1900	1900	1110	310	310

Сумму всех реакций необходимо сравнить с весом всей конструкции действующий на нижние двутавровые балки.

Вес всей конструкции: 9794 Н;

Внутренние силы, возникающие в конструкции: 9484 Н;

Выводы. Итак, в работе сделано следующее:

1. Рассчитаны собственные частоты основания установки;

2. Определены реакции в верхних двутавровых балках:

2.1. Собственные частоты балок найдены из решения уравнения Бернулли-Эйлера;

2.2. Уравнения вынужденных колебаний балок решены методом разложения по собственным формам;

2.3. Найдены динамические реакции.

3. Определены реакции в нижних двутавровых балках, проведено сравнение с амплитудами реакций в верхних балках.

Расчет показал, что суммарная «отрывающая» сила по значению приближается к усилию, возникающему в опоре под действием веса всей конструкции. Это позволяет сделать вывод о том, что крепление испытательной установки к полу желательно.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Волков Л.К., Ковалев Р.Н., Никифорова Г.Н., Чаадаева Е.Е., Явленский К.Н., Явленский А.К., Вибрации и шум электрических машин малой мощности, Энергия, Ленинград, отд-ние, 1979. 206с., ил.
2. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. М.: Высшая школа, 1980. 408 с.
3. Елисеев В.В. Механика упругих тел. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 336 с.

ВИБРАЦИОННЫЙ ИСТОЧНИК СИГНАЛОВ ДЛЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Объектом исследования данной работы являлся переносной вибрационный источник сигналов для сейсморазведки.

Цель работы – исследование разных типов источников сейсмических сигналов для создания принципиально нового вибрационного источника с гидравлическим управлением.

«Сейсморазведка — раздел разведочной геофизики, основанный на регистрации искусственно возбуждаемых упругих волн и извлечении из них полезной геолого-геофизической информации. Чаще всего сейсморазведка применяется для обнаружения газовых или нефтяных месторождений, т.е. в коммерческих целях.» [1] Сейсмические исследования заключаются в изучении и анализе сейсмических волн, которые подаются в слои земной коры и отражаются ими. Отраженные волны принимаются сейсмоприемниками, после чего обработанная информация поступает в сейсмическую станцию и изучается профессионалами.

Часто сейсмостанция представлена в виде машины-сейсмовибратора.

Недостатки машины-сейсмовибратора:

- 1) «низкая применимость на сложных рельефах;
- 2) низкая эффективность на территориях с горизонтами солей;
- 3) негативное влияние на экосистему изучаемых территорий». [2]

Преимущества, актуальность и область применения разработанного устройства: геофизические исследования (определение состава почвы, целостности пород) труднопроходимых районов с использованием переносного вибрационного источника сейсмических сигналов, не оказывающего пагубного воздействия на изучаемые территории.

В ходе изучения разных типов источников сигналов по [3-6] были выявлены их основные параметры и проведен сравнительный анализ, результаты которого приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительная таблица источников сигналов

Тип источника/ Сравнительные характеристики		Масса, кг	Тип сигнала	Минималь- ный период срабатывания, с	Частот- ный диапазон, Гц	Максималь- ное толкающее усилие
Импульсные	Механический	42-100	импульсный	2-6	30-70	0,6 кДж
	Газодинамический	142	импульсный	3-10	200	5-3000 кДж
	Пневматический	50	импульсный		20-200	100-150 кДж
	Электродинами- ческий	190	импульсный	4-6	90-130	500 кН
Вибрационные	Эксцентриковый	50		0,03-0,1	50-200	5,5 кН
	Гидравлический	60	Синусоидальный (с постоянной или линейно изменяющейся частотой)	0,03-0,1	5-250	300 кН

Из таблицы 1 можем заметить, что вибрационные источники имеют меньшие средние показатели массы по сравнению с импульсными, соответственно, более компактны и удобны в применении. Вместе с тем, вибрационные источники работают в более широком диапазоне частот, позволяя проводить большое количество разных видов сейсмических исследований с помощью одного прибора, делая их универсальными и высокоэффективными. А также вибрационные источники имеют сравнительно малый период срабатывания, что дает возможность получать достоверные и полные результаты исследований практически мгновенно.

В результате была разработана схема вибрационного устройства для сейсморазведки с гидравлическим управлением (рисунок 1).

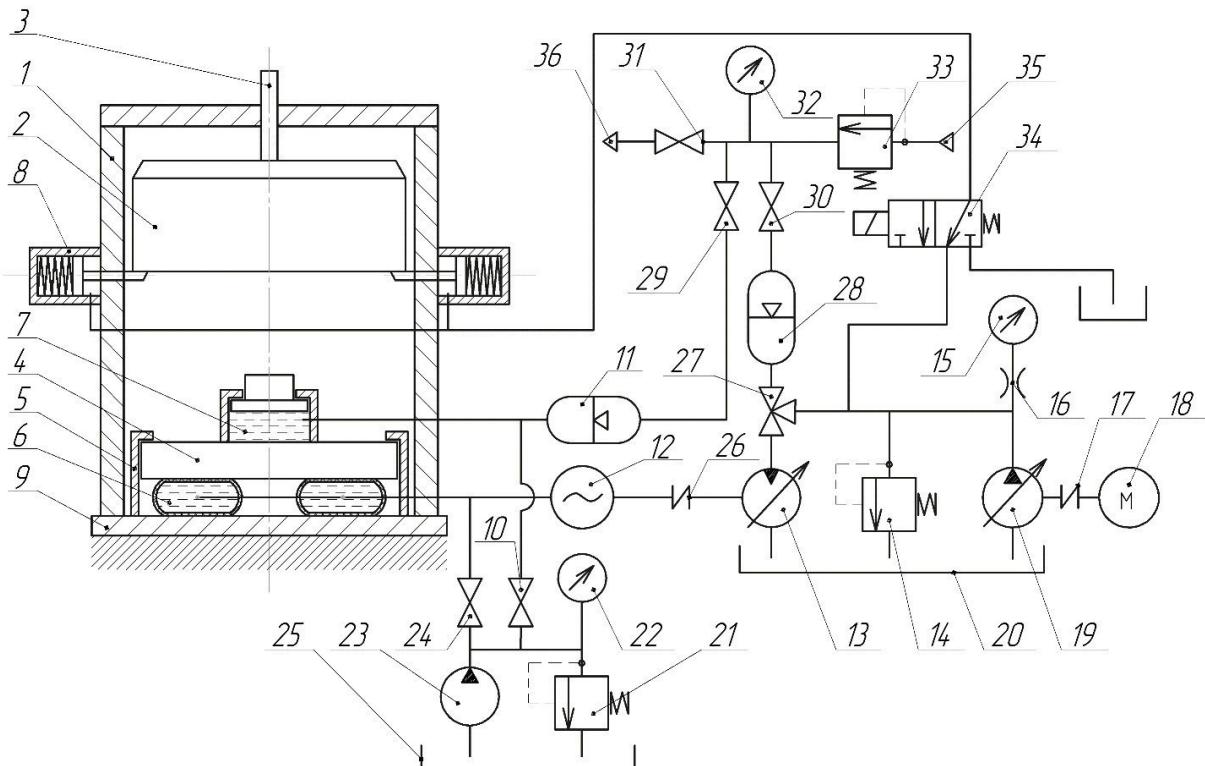


Рисунок 1. Схема разработанного виброустройства

Устройство работает следующим образом.

Перед началом работы корпус 1 с опорной плитой 9 устанавливается на грунт на точку возбуждения. Груз 2 тросом 3 поднимается в начальное положение, в котором фиксируется упорами 8.

В зависимости от необходимой нагрузки шланги высокого давления 6, заполняются рабочей жидкостью, путем открывания/закрывания вентиля 24 до необходимого давления, а также заполняется гидроцилиндр амортизатора 7 и гидропневмоаккумулятор 11 путем открывания/закрывания вентиля 10; при этом насос 23 подает рабочую жидкость под давлением из бака 25, предохранительный клапан 21 служит для настройки давления жидкости; индикацию (контроль) давления осуществляют по датчику давления 22.

Кроме того, производится заполнение гидроцилиндров упоров 8 путем переключения распределителя 34, а также заполнение гидропневмоаккумулятора 28 (трехходовой кран 27 соединяет насос 19 и гидропневмоаккумулятор 28); при этом насос 19 подает рабочую жидкость под давлением из бака 20, предохранительный клапан 14 служит для настройки

давления жидкости; индикацию (контроль) давления осуществляют по датчику давления 15, дроссель 16 предохраняет датчик давления 15 от резких скачков давления в системе.

В то же время, в зависимости от прикладываемой нагрузки и необходимого воздействия на грунт поочередно настраивают давление газа в гидропневмоаккумуляторах 11 и 28, которое может быть не одинаковым, путем открытия/закрытия вентилей 29 и 30; при этом газ поступает через вход 35, предохранительный клапан 33 служит для настройки давления газа до требуемого значения, индикацию (контроль) давления осуществляют по датчику давления 32.

После подачи управляющего сигнала на распределитель 34 упоры 8 освобождают груз 2. В момент взаимодействия груза 2 с амортизатором 7 (в начальный момент возникновения импульса) через гидромотор 13 запускается генератор колебаний 12 путем поворота трехходового крана 27 (соединением насос 19, гидропневмоаккумулятор 28 и гидромотор 13). Генератор колебаний возбуждает колебания в поджатых упругих оболочках 6, при этом благодаря импульсу силы и нелинейности упругих оболочек, существенно возрастает значение несущего сигнала.

Возврат груза 2 в начальное положение осуществляется амортизатором 7 энергией гидропневмоаккумулятора 11.

Таким образом, не имея существенного транспортного веса сейсмического источника, можно сформировать силовой импульс и наложить на него прецизионный вибрационный сигнал различных видов (синусоидальный, прямоугольный, пилообразный) определенной частоты, амплитуды или переменной амплитуды и частоты.

В результате работы выявлены основные преимущества и недостатки существующих источников сейсмических сигналов, представлена схема вибрационного устройства с гидравлическим управлением.

Экономическая значимость работы: широкий диапазон настройки параметров источника дает возможность обнаружения и исследования практически любых земных пород; малые габариты и масса источника позволяют использовать его как переносное устройство для геологических исследований в труднодоступных для машин районах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гурвич И.И., Боганик Г.Н.. Сейсмическая разведка. — 3-е изд., переработанное. — М. : Недра, 1980. – С 551.
2. Скоренко Т. Сотрясающие землю // Популярная механика. – 2015. – №2.
3. Гайнанов В.Г. Сейсморазведка : учеб. пособие. – М., 2006.
4. Основные параметры невзрывных источников. – М. : Директ-Медиа, 2006. ; То же [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=64676>
5. Пневматический источник: Горная энциклопедия. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://s238.biblioclub.ru/interfaces/main_2/index.php?page=dict&termin=1056386&lang=ru
6. Невзрывные источники сейсмических колебаний: Горная энциклопедия. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/n/nevzryvnye-istochniki-sejsmicheskix-kolebanij>

АНАЛИЗ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕДАЧИ «ЗУБЧАТАЯ РЕЙКА – ЦЕВОЧНОЕ КОЛЕСО»

Цевочно-реечная передача – недооценённый вид зубчатой передачи, применяемый для преобразования вращения цевочного колеса в поступательное перемещение зубчатой рейки (рисунок 1).

Преимущества передачи:

- 1) Высокая точность позиционирования;
- 2) Незначительное влияние силы трения скольжения соприкасающихся элементов;
- 3) Коэффициент полезного действия от 0,85;
- 4) Высокая скорость. Подобная система способна развивать скорость до 11 метров в секунду [1];
- 5) Долговечность;
- 6) Низкий уровень шума и вибраций;
- 7) Простота технического обслуживания и монтажа.

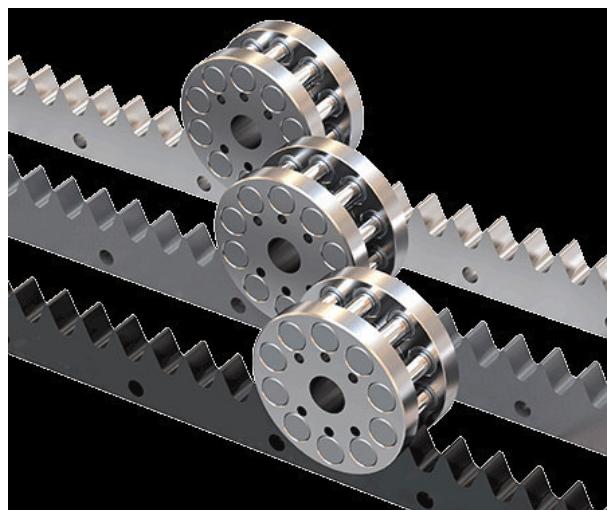


Рисунок 1. Общий вид промышленных образцов передачи RPS [2]

Недостатки передачи:

Высокая стоимость в сравнении с аналогичными передачами, из-за необходимости в точной обработке.

Цель работы – исследовать геометрические параметры зацепления, выявить их влияние на работу сил трения.

Уравнение координат центра цевок, описанное в [3], расположенный на осевой линии (рисунок 2) записывается следующим образом:

$$\begin{aligned}x_c &= R - R_c \cdot \cos \varphi \\y_c &= R_c \cdot \sin \varphi\end{aligned}\tag{1}$$

где x_c – координата точки С по оси х; y_c – координата точки С по оси у; R – расстояние от центра цевочного колеса до точки полюса; R_c – радиус оси цевок; φ – угол поворота.

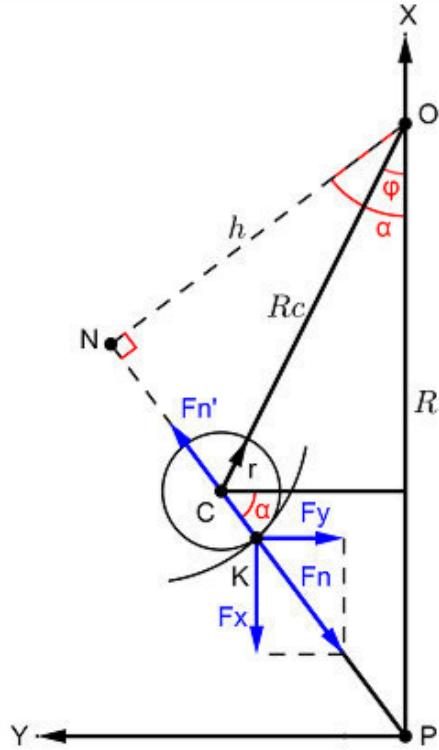


Рисунок 2. Схема силы зацепления

Каждая цевка контактирует с зубчатой рейкой в точке К, поэтому координаты профиля зубчатой рейки можно записать:

$$x_k = x_c - r \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

$$\begin{aligned} y_k &= y_c - r \cdot \cos \alpha - \varphi \cdot R \\ h &= R \cdot \cos \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

где h – плечо нормали, r – радиус цевки.

Сила зацепления описывается по формуле

$$F = \Delta \cdot c, \Delta = d\varphi \cdot h \quad (4)$$

где Δ – упругая деформация пар зацепления, c – жесткость пар зацепления, $d\varphi$ – упругий поворот колеса.

Тогда уравнение момента силы зацепления

$$T = \sum_{i=1}^n F_i \cdot h_i = d\varphi \cdot c \cdot \sum_{i=1}^n h_i^2 = \frac{F}{h} \cdot \sum_{i=1}^n h_i^2 \quad (5)$$

где n – парность зацепления, $n = 1$ – однопарное, $n = 2$ – двух парное зацепление.

Сила зацепления i -ой цевки определяется

$$F_i = \frac{T \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i^2} \quad (6)$$

По данным формулам были исследованы параметры мощности сил трения и работы сил трения в зависимости от количества и диаметра цевок [4].

Исходя из полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. На профиль зубчатой рейки существенно влияет только диаметр цевок колеса. Изменение числа цевок меняет период профиля рейки. Увеличение диаметра цевок приводит к уменьшению высоты зубьев, а период изменения профиля зуба остается постоянным.
2. Работа силы трения в цевочно-реечной передаче зависит от параметров числа цевок и их диаметров. При увеличении числа и диаметров цевок происходит равномерное уменьшение работы сил трения в зацеплении.

3. В двух парном зацеплении силы трения незначительно колеблются, в зоне однопарного зацепления при уменьшении угла поворота φ они плавно уменьшаются.

ЛИТЕРАТУРА:

1. <https://www.nexengroup.com/nxn/nxns/Roller+Pinion+System/Nexen%20Roller%20Pinion%20Technology.pdf> (Дата обращения: 19.09.2019)
2. <https://www.nexengroup.com/nxn/products/prod-nav/lp/Roller+Pinion+System> (Дата обращения: 22.09.2019)
3. Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин – Москва: Изд-во «Наука», 1968. – 584 стр. с илл.
4. <http://elib.spbstu.ru/dl/3/2019/vr/vr19-3634.pdf/view> (Дата обращения: 29.09.2019).

УДК 621.2.082.18, 621.86/87

Е.А. Тарасенко, А.С. Шушков

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ФУТЕРОВКИ ПРИВОДНОГО БАРАБАНА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Простои ленточных конвейеров на предприятиях приводят к серьезным финансовым потерям. Зачастую простои вызваны необходимостью произвести ремонт и обследование металлических частей конвейера и ленты. Одной из проблем при эксплуатации ленточных конвейеров являются сход транспортерной ленты и ее различные повреждения. Это приводит к неплановым технологическим простоим, требуются дополнительные средства на ремонт ленты, и тем самым увеличивается стоимость выпускаемой продукции. Поэтому, работа над повышением срока службы ленточного конвейера является наиболее актуальной в области совершенствования конвейерного транспорта.

Одним из направлений увеличения долговечности оборудования является установка на барабаны конвейера покрытий разнообразных профилей и материалов, например, таких как различные типы резин, полиуретан, резино-керамические элементы. Материалы футеровки не подвержены коррозии, защищают поверхность барабана от износа, обладают стойкостью к внешним воздействиям, обеспечивают высокую износостойкость, хорошее сцепление с лентой и исключает пробуксовку. Также необходимо использовать материалы футеровки учитывая условия ее эксплуатации (высокая влажность, низкие или высокие температуры) [1].

Целью работы является увеличение долговечности оборудования ленточного конвейера за счет установки футеровки и исследование ее изнашивания.

Расчет проведен для следующий условий работы конвейера: исходный материал – кварцевый песок, насыпная плотность $c = 1,3 \text{ т}/\text{м}^3$, угол естественного откоса в покое $\varphi = 40^\circ$, угол естественного откоса в движении $\varphi_d = 20^\circ$, коэффициент трения груза по резине в покое $k_p = 0,6$, коэффициент трения в движении $k_{dv} = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3$, группа абразивности С (средней абразивности), производительность конвейера $Q = 35 \text{ т}/\text{ч}$. Схема конвейера представлена на рисунке 1. Длина горизонтального участка $l_r = l_1 = 40 \text{ м}$. Горизонтальная проекция наклонного участка $l_{n,r} = l_2 = 15 \text{ м}$. Вертикальная проекция наклонного участка 3,2 м.

В результате расчета в характерных точках определены значения натяжения ленты. Величина $S_{c6} = S_1 = 1021 \text{ Н}, S_{n6} = S_8 = 2174 \text{ Н}$.

Для передачи тягового усилия с ведущего барабана на ленту должно выполняться условие $S_{n6} \leq S_{c6} \cdot e^{f_a}$ – из теории фрикционного барабана [2].

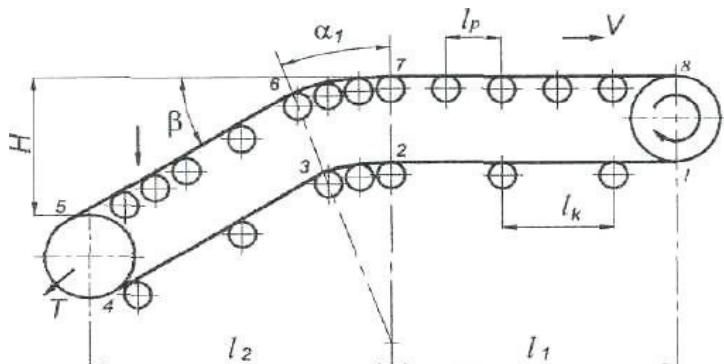


Рисунок 1. Схема ленточного конвейера

Ниже представлен график (рисунок 2), учитывающий различные условия работы; коэффициент трения ленты о барабан; материал поверхности барабана с коэффициентами трения (таблица 1).

Таблица 1. Коеффициент сцепления ленты с барабаном, f .

Поверхность приводного вала	Состояние соприкасающихся поверхностей барабана и ленты	Атмосферные условия	Коэффициент, μ
Стальная без футеровки	Чистые	Сухо	0,35
	Пыльные	Сухо	0,35
	Загрязнения нелипкими грузами (песок, уголь)	Влажно	0,25
	Загрязнения нелипкими грузами	от 0 до -10 С	0,2
	Загрязнения липкими грузами (глина), обледенение	Влажно, морозно	0,1
Футерованная прорезиненной лентой	Чистые	Сухо	0,4
	Пыльные	Сухо	0,35
	Загрязнения нелипкими грузами (песок, уголь)	Влажно	0,3
	Загрязнения нелипкими грузами (песок, уголь)	от 0 до -10 С	0,25
	Загрязнения липкими грузами (глина)	Влажно, морозно	0,1
Футерованная резиной	Чистые	Сухо	0,5
	Пыльные	Сухо	0,45
	Загрязнения нелипкими грузами (песок, уголь)	Влажно	0,35
	Загрязнения липкими грузами (глина)	Влажно, морозно	0,15

Значения соответственно: стальной барабан, влажная погода -1,9; барабан с резиновой обшивкой, сухая погода- 3,58; барабан с резиновой обшивкой, влажная погода -2,2; барабан с деревянной обшивкой, сухая погода-3,06 (кН).

Для условий конвейера использование стального барабана при высокой влажности нецелесообразно.



Рисунок 2. График зависимости тягового усилия от коэффициента трения барабана о ленту

В настоящее время в международном научно-образовательном центре «BaltTribоКомПолитехник» на машине трения возвратно-поступательного движения типа МТВП проводятся лабораторные испытания футеровок барабанов ленточных конвейеров. В качестве истирающего тела используется материал футеровки (например, металл, полиуретан, керамические элементы), контртело – материал ленты конвейера. На рисунке 3 представлен график силы трения в зависимости от времени перемещения для пары металл – каучук [3].

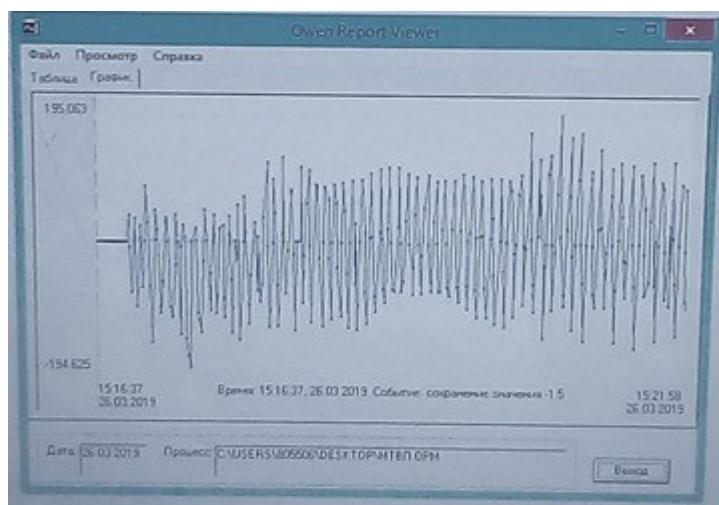


Рисунок 3. График зависимости силы трения от времени перемещения

Данные испытания позволяют определить параметры трения для сочетания различных материалов пар трения, тем самым правильно подобрать футеровку в зависимости от условий эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: учеб.пособие для машиностроительных вузов. — 3-е изд., перераб. — М. Машиностроение, 1983. – 487 с.
2. Проектирование ленточного конвейера. Методические указания для студентов специальности 190205 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» / А.В. Тарнопольский, Н.Е. Курносов, Л.П. Корнилова, Ю.К. Измайлова – Пенза : ПензГУ, 2009. – 60 с.
3. Бреки А.Д., Иванова Г.В., Тарасенко Е.А. Лабораторные исследования трения и истирания нитрильного каучука/ Технология машиностроения и материаловедение: Материалы международной научно-практической конференции.– Новокузнецк: НИЦ МС, 2019. – №3. – с.47-50.

УДК 621.791

Е.А. Кулик, А.Д. Фернандо, Г.В. Иванова, Г.В. Цветкова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ БИМЕТАЛЛОВ

Для повышения ресурса работы конкретной детали машин большое значения имеет состояние поверхностного слоя. Свойства материала поверхности можно задать путем регулирования его химического состава, структурно-фазового состояния и физико-механических свойств. При нанесении покрытий на поверхность деталей машин образуются слои, отличающиеся по своим свойствам от свойств основного металла. Такие биметаллические изделия создаются путем нанесения слоев дорогостоящих сплавов на дешевую низкоуглеродистую сталь для повышения износостойкости поверхности детали. Это может быть целесообразно, если условия нагружения поверхностных участков отличаются от условий нагружения по сечению. Например, в процессе интенсивного абразивного изнашивания лопаток смесителей, поверхность подвергается воздействию абразивных частиц высокой твердости. Один из способов получения таких биметаллов – использование наплавочных технологий [1-3].

Цель настоящей работы заключалась в изучении влияния состояния поверхностных слоев биметаллов на износостойкость деталей машин.

Проводились исследования образцов многослойных наплавок, нанесенных на сталь 45 автоматической электродуговой наплавкой под флюсами ФЦ-16 и ФК-45, и наплавки стеллит и инконель 625, полученные с помощью лазера. В работе были использованы методы оптической металлографии (металлографические микроскопы μ Vizo-MET, MeijiTechno IM7200). Были проведены испытания на макро- и микротвердость с помощью микротвердометра ПМТ-3 и автоматического микротвердометра FM-300, а также на износостойкость на машине трения СМЦ-2.

Исследование микроструктуры наплавочных материалов показали, что в наплавке, полученной под флюсом ФЦ-16, присутствует феррито-перлитная структура. В наплавке, полученной под флюсом ФК-45, наблюдалась аустенитно-марганситная структура, рисунок 1.

Результаты измерения микротвердости наплавок показали, что в наплавке под флюсом ФЦ-16, она равна 2360 МПа, а в наплавке, полученной под флюсом ФК-45, она равна

7800 МПа, (таблица 1). Среднее значение микротвёрдости наплавки инконель 4450 МПа. Среднее значение микротвёрдости наплавки стеллит 6280 МПа.

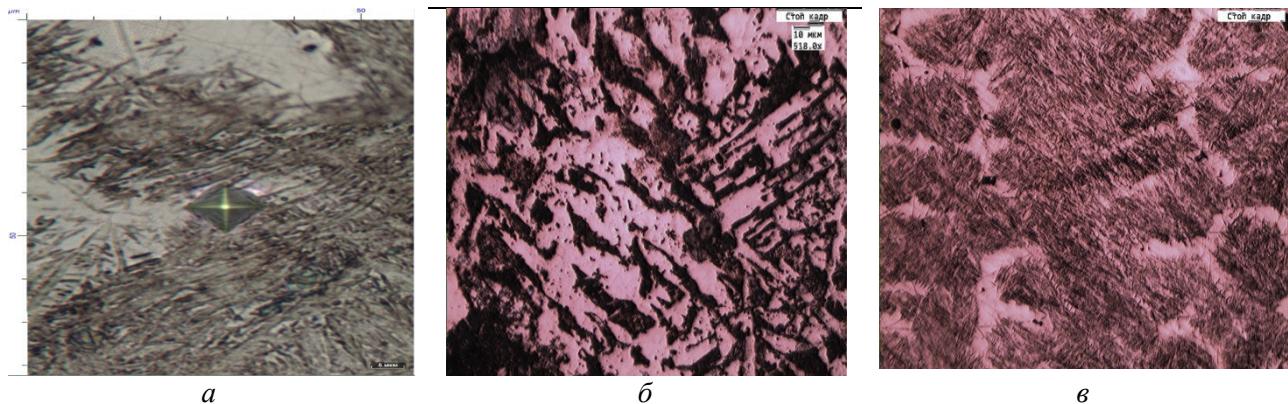


Рисунок 1. Микроструктура наплавочных материалов, полученных под флюсами ФК-45(а, в) и ФЦ-16(б)

В результате триботехнических испытаний видим преимущество наплавки с аустенитно-маргентитной структурой (относительная износостойкость, $\varepsilon=7$). Трибологические испытания наплавленного материала с ферритно-перлитной структурой показали его небольшую относительную износостойкость ($\varepsilon = 3$). Наплавочные материалы с аустенитно-маргентитной структурой показали относительную износостойкость ($\varepsilon = 7$). Относительную износостойкость ε определяли как безразмерный показатель, характеризующий отношение абсолютных величин износа по массе двух материалов, из которых один (сталь 45) принят за эталон, относительная износостойкость (ε) стали 45 принята равной 1, таблица 1.

Таблица 1. Результаты измерения микротвердости и износостойкости

Образец	Износ, Δm (г)	Относительная износостойкость, ε	Коэффициент трения, μ	Твердость HRC	Микротвёрдость, МПа	Интенсивность изнашивания $(\Delta m/L) \cdot 10^3$ г/м
дуговая наплавка под флюсом ФЦ-16	0,08	3	0,2	12	2360	0,52
дуговая наплавка под керамическим флюсом ФК-45	0,04	7	0,29	51	7800	0,24
сталь 45	0,25	1	0,28	21	2080	1,5
инконель 625-лазерная наплавка	0,02	33	0,25	42	4450	0,09
стеллит-лазерная наплавка	0,03	56	0,27	48	6280	0,06

Таким образом, проведены исследования наплавочного материала из стали с аустенитно-маргентитной и ферритно-перлитной структурой на макро- и микроуровне. Эти биметаллические материалы предназначены для рабочих лопаток смесителей.

Высокая износостойкость наплавочных материалов с аустенитно-маргентитной структурой объясняется наличием твердой маргентитной матрицы. Более мягкий аустенит окружает зерна маргентита и удерживает частицы упрочняющей фазы. Этот наплавочный материал подходит для изготовления рабочих лопаток смесителей.

При сравнении результатов измерения твердости, микротвёрдости и износостойкости подтверждена корреляция между ними. С увеличением твердости материалов увеличивается их износостойкость. Это характерно для чистых металлов, а в случае сложных сплавов, как у нас, зависимость может усложняться. [1, 4-7]

При сравнении по износостойкости наплавок из стали с аустенитно-маргентитной и ферритно-перлитной структурами с наплавками типа инконель и стеллит наблюдается значительное преимущество последних ($\epsilon = 33$ и $\epsilon = 56$). Это позволяет их использовать при изготовлении лопаток газотурбинных двигателей [4-7]. Однако эти сплавы содержат дорогостоящие металлы - вольфрам, кобальт, никель и др. Кроме того, получение этих наплавок с помощью лазерной технологии также дорого. Поэтому применение таких наплавок ограничено.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лившиц Л.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Э.Г. Основы легирования наплавленного металла. Абразивный износ. М: Машиностроение, 1969, 186 с.
2. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.
3. Гордиенко В.Н., Попов С.Н. Износостойкие материалы для защиты лопаток асфальтосмесителей - Строительные и дорожные машины. - 1988, №8, С. 18.
4. Скотникова М.А., Белов Ю.М., Сокирянский Л.Ф., Цветкова Г.В. Механические свойства и структура наплавленного износостойкого металла. // Металловедение и термическая обработка металлов, 1994, № 8, с. 20-23.
5. Скотникова М.А. Особенности строения наплавочных материалов для рабочих лопаток смесителей. / М.А. Скотникова, Г.В. Цветкова, Ю.М. Белов, Н.А. Крылов, Е.К. Иванов // Металлообработка. – 2011–№1(61)– 37-42С.
6. Цветкова Г.В., Скотникова М.А., Белов Ю.М., Крылов Н.А., Иванов Е.К. Структурное и фазовое состояние наплавочных материалов, предназначенных для рабочих лопаток смесителей // Научно-технические ведомости СПбГПУ, Спб, 2010, № 110, С.129-137.
7. Skotnikova M.A., Tsvetkova G.V., Ivanova G.V. Structural and phase transformation in material of blades of steam turbines from titanium alloy after technological treatment, Book, Lecture Notes in Mechanical Engineering. 24 (2015) 93–101.

УДК 629.025

А.В. Дмитрук, Д.А. Максимов, К.О. Гордиенко
Военная академия материально-технического обеспечения
им. генерала армии А.В. Хрулёва

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПУТЕВЫХ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ЛИЧНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

На сегодняшний день растет число потенциальных потребителей электротранспорта индивидуальной мобильности на мировом рынке. Примечательно, что сегмент развития отечественного электротранспорта индивидуальной мобильности до сих не затронул сферу железнодорожной инфраструктуры. В качестве адаптации из всего кластера существующих

средств индивидуальной мобильности рассматривается самое компактное – моноколесо. Как показал анализ данных и патентный поиск аналогичных транспортных средств, на данный момент не существует моноколеса, которое можно было бы использовать в путевом хозяйстве, при передвижении по железнодорожным путям.

Научная новизна создания путевого моноколеса заключается в уникальном объединении двух функциональных возможностей – движение человека, как и по дорогам общего пользования, так и по железнодорожному полотну, обеспечивающее многоцелевое применения данного средства индивидуальной мобильности. К наиболее существенным отличительным признакам от обычного моноколеса стоит отнести (рисунок 1):

1. Наличие промежуточного колесного движителя для движения по рельсовой нити с направляющими ребордами, предотвращающие поперечное смещение человека при движении (Конструктивная база рассматривается от сдвоенного моноколеса);
2. Наличие прижимных роликов, которые не позволяют сойти (упасть) с рельсовой нити, в том числе и при заходе в кривые участки.

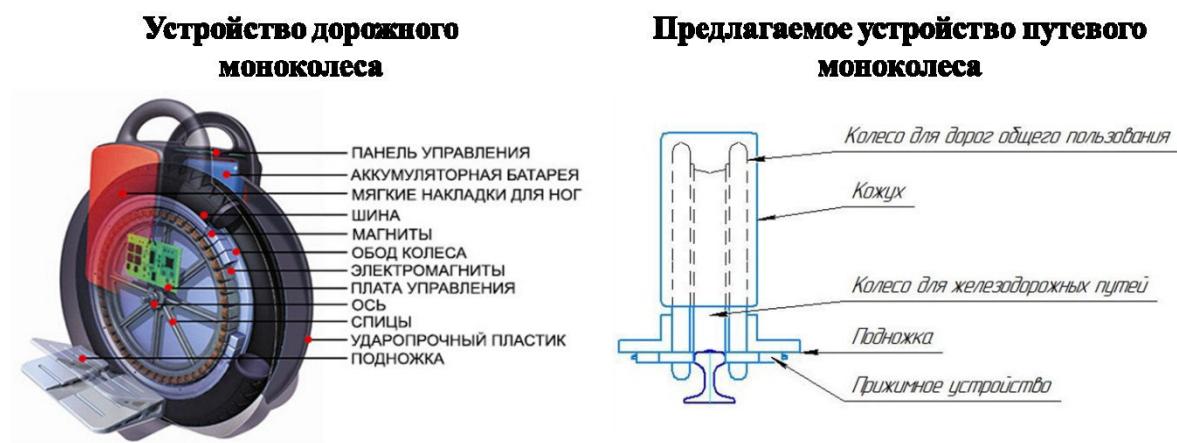


Рисунок 1. Устройство дорожного и путевого моноколес

Рассматривая аналогичные транспортные устройства для передвижения рабочего персонала ОАО «РЖД» и перемещения путевого инструмента, с целью осмотра железнодорожного пути и по другим служебным надобностям, можно выделить следующие:

1. Транспортная дрезина;
2. Модерон.

Транспортная дрезина — специальная тележка (изделие), передвигаемая механически по рельсам и приводимая в движение чаще всего двигателями, реже мускульным приводом. За счет особенностей конструкции (значительные габаритные и массовые характеристики), узкой спецификой применения (передвижение только по железнодорожным путям), и значительными стоимостными показателями такой тип транспортного средства не получил повсеместной распространенности в системе технического оснащения путевого хозяйства.

Модерон — это двухколесное транспортное устройство, служащее для перемещения различного путевого инструмента и материалов по рельсу железнодорожного пути. Его недостатком является отсутствие силовой установки, большие габариты, узкая специализация применения, невозможность перевозки рабочего персонала.

Стоит также отметить, что для выполнения планово-предупредительных работ обходчику путей каждый день необходимо совершать постоянный надзор железнодорожного полотна пешком, на расстояние около 10-15 км, неся с собой, при необходимости, комплект путевого инструмента [1]. Такие условия труда, в том числе в сложных метеорологических

явлениях, сказываются на производительности рабочего процесса и состоянии здоровья обходчика путей.

Применение путевого моноколеса также может повысить качество проведения работы сотрудников ведомственной охраны железнодорожного транспорта РФ, заключающейся в передвижении по железнодорожному полотну или близлежащей насыпи при проведение следующих мероприятий [2]:

1. Патрулирование (объезд) периметра зоны транспортной безопасности и уязвимых участков железных дорог;

2. Обследование совместно с представителями собственников объектов транспортной инфраструктуры железнодорожного транспорта по вопросам их антитеррористической защищенности, представление предложений и рекомендаций по их защите;

3. Осуществление безопасности и слежение за обстановкой на охраняемом объекте (территории) при помощи непосредственного присутствия работника ведомственной охраны.

Оснащение подразделений Железнодорожных Войск путевым моноколесом остается не менее актуальным. Его использование штатными группами технической разведки уменьшит трудозатраты и время на осуществлении комплекса мероприятий командования, штабов и служб, направленных на добывание, сбор и изучение сведений о состоянии железных дорог и условий выполнения восстановительных работ на разрушенных объектах [3].

Актуальной является и особенность охраны вагонов с военным грузом. На время остановки военного эшелона на станции военнослужащие Железнодорожных Войск, выделяющиеся из состава специальных штатных армейских подразделений следят за сохранностью перевозимых грузов и ведут наблюдение по сторонам движения вдоль железной дороги. Использование путевого моноколеса выездным караулом значительно может повысить показатели эффективности несения службы, и сократить потери трудовых ресурсов при патрулировании близлежащей территории.

Путевое моноколесо для использования в железнодорожной индустрии по сравнению с другими железнодорожными транспортными устройствами является более высокотехнологичным средством малой механизации, так как обладает рядом преимуществ:

1. Универсальность движения человека по дорогам общего пользования, бездорожью и железнодорожной нити в сочетании с бесшумностью и плавностью динамики, значительно сокращая время на передвижение;

2. Компактность - маленькие размеры и вес позволяют брать путевое моноколесо с собой, благодаря этому полностью отсутствуют ограничения в перемещении;

3. Высокая степень маневренности при движении, появляется возможность освободить руки, также при движении по ж/д путям отсутствует потребность в удерживании равновесия;

4. Режим грузовой платформы - при фиксации на ж/д полотне появляется возможность перепрофилирования изделия для перевозки различных грузов (при наличии пульта дистанционного управления);

5. Применение пластиковых материалов для изготовления корпусных и составных частей конструкции, а также специальных изоляционных материалов, которые не допускают воздействия колеса с ребордами на сигналы автоблокировки;

6. Небольшая стоимость, низкие эксплуатационные расходы на обслуживание;

7. Силовая установка работает от электричества, которое является экологически чистым источником энергии;

8. Не требует водительских прав;

9. Простота конструкции (малое количество движимых частей и механических передач) и эксплуатации, большие возможности в перспективе по повышению автоматизации и упрощению вождения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Винокурцева Е.А. Применение участковой системы содержания пути в путевом хозяйстве железнодорожного транспорта: региональный аспект // Вопросы экономики и управления. — 2019. — №3. — С. 33-37.
2. Руководство по организации работы караулов стрелковых подразделений федерального государственного предприятия «Ведомственная охрана железнодорожного транспорта Российской Федерации» [Электронный источник] /<https://docplayer.ru/57134931-Federalnoe-agentstvo-zheleznodorozhnogo-transporta.html> (дата обращения 05.10.2019)
3. Левин М.А. Современные направления развития средств технической разведки железных дорог / М.А. Левин // Наука и военная безопасность. — 2018. — №3 — С. 80-84.

УДК 620.1.051

В.Р. Муллаева, С.Ю. Перепелкина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАШИНЫ ТРЕНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

Трение является повсеместным процессом. Источником трения могут стать химическая связь, поверхностная деформация, адгезия и т.д. Помимо этого, трение может возникнуть, как на поверхности (граница раздела тел), так и внутри тела. Потери на трение заметно понижают эффективность механизмов [1]. Например, отчет об энергопотреблении в легковых автомобилях показал, что на трение расходуется почти треть всей энергии. Трение в зависимости от состава окружающей среды, структуры поверхностных слоёв и их свойств и внешнего воздействия приводит к изнашиванию. Изнашивание и износ как следствие трения также проявляются повсеместно и являются большой проблемой в области машиностроения [2, 3]. Поэтому одной из основных задач трибологии является изучение процессов изнашивания и поиск новых технологий по борьбе с ними.

Целью данной работы являлось создание трёхмерной модели машины трения для испытаний абразивного изнашивания, подходящей для лабораторных условий. Для создания этой модели было необходимо произвести кинематический анализ установки, расчет зубчатой передачи и проверочные расчеты элементов установки.

Для создания схемы машины трения, представленной на рисунке 1, в первую очередь были определены основные требования к установке:

- Машина должна быть простой и понятной в использовании, чтобы испытания могли проводиться студентами;
- Машина должна быть настольной (обладать небольшими габаритными размерами);
- Метод измерения должен быть динамическим, что обеспечит заметное увеличение скорости испытаний.

В этой машине методом измерения износа выбран метод по потере массы, так как он не требует специального компьютерного обеспечения и определенной квалификации для человека, который будет проводить испытания. Метод измерения износа по потере массы является простым для понимания. Это делает машину удобной для проведения лабораторных работ со студентами или студентами самостоятельно.

Использование тензодатчика консольного типа значительно упрощает конструкцию. Он также позволяет использовать крышку как образец и не продумывать дополнительное крепление образца внутри ёмкости. Это в свою очередь исключает дополнительное изнашивание креплений образца, нет необходимости продумывать обеспечение герметичности. Вес соединённого с консольным тензодатчиком испытываемого образца

измеряется постоянно во время работы машины, что заметно увеличивает скорость и сокращает время испытаний соответственно.

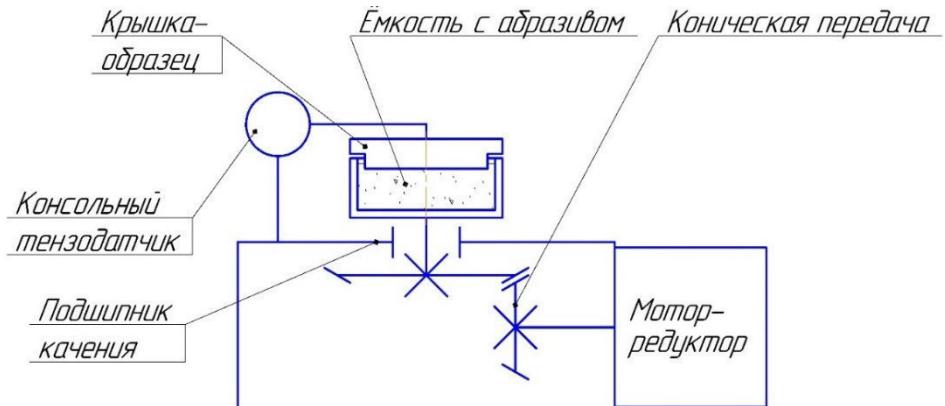


Рисунок1. Схема установки машины трения для испытаний на абразивное изнашивание

Энерго-кинематический расчет позволил выбрать рациональный мотор-редуктор из каталога [4], характеристики которого представлены в таблице 1.

Для точного создания моделей зубчатых колёс расчет зубчатой передачи с помощью библиотеки «Валы и механические передачи 2D» в программе Kompas – 3D. Результатом расчёта является создание твёрдотельных моделей шестерни и колеса, представленных на рисунках 2 и 3 соответственно.

Таблица 1. Характеристики мотор-редуктора

Наименование	Мощность на выходном валу, кВт	Момент на выходном валу, Нм	Скорость вращения выходного вала, об/мин	Передаточное отношение
A102_5.5 S05 M05B2	0,25	5	494	5.5

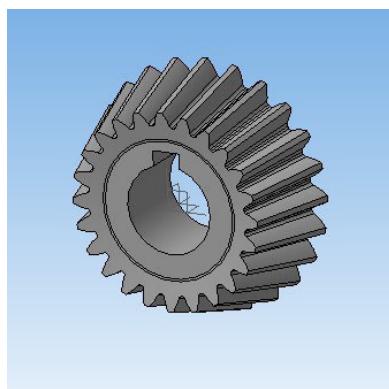


Рисунок 2. Трёхмерная модель шестерни

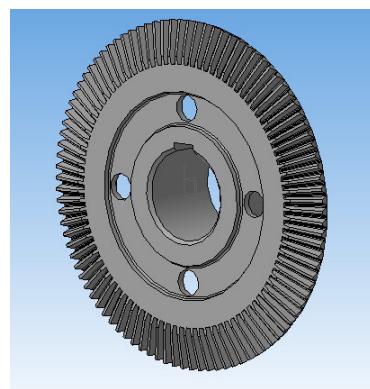


Рисунок 3. Трёхмерная модель колеса

Испытания на абразивное изнашивание имеют некоторые особенности для выбора материалов. Основной частью машины трения, где проводятся непосредственные испытания, является барабан – литая конструкция, состоящая из ёмкости с абразивом и вала, на который посредством шпоночного соединения надевается зубчатое колесо. В качестве материала для этой детали выбрана сталь 40Х. Этот материал считается хорошо обрабатываемым, что делает его подходящим для изготовления осей и валов [5]. Для обеспечения достаточной

износостойкости внутренней части ёмкости, где находится абразив, предполагается хромирование этих поверхностей. Хромирование является достаточно популярным видом поверхностной обработки материала, позволяющая повысить износостойкость деталей, изготовленных из стали 40Х [6, 7]. При этом процесс не является дорогостоящим, что делает его доступным. Крышка, являясь образцом для испытаний, может быть изготовлена из любого материала, который необходимо испытать. Помимо материалов, из которых изготовлен образец, с помощью нанесения различных напылений на внутреннюю часть крышки-образца можно испытывать эти напыления на устойчивость к абразивному износу. Изготовив несколько образцов из разных материалов, или же выбрав разнообразные напыления, можно провести сравнительный анализ их износостойкости. Стакан под подшипник изготовлен из серого чугуна марки СЧ15, этот же материал подходит для корпуса машины и кронштейна, к которому крепится крышка. Этот материал является достаточно экономичным.

Спроектировав схему установки и все необходимые детали, была создана сборка, представляющая собой модель машины трения для испытаний на абразивное изнашивание (рисунок 4 и рисунок 5).

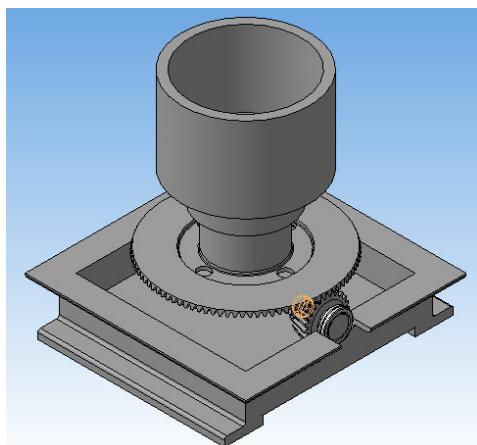


Рисунок 4. Модель машины трения без верхней части корпуса и образца

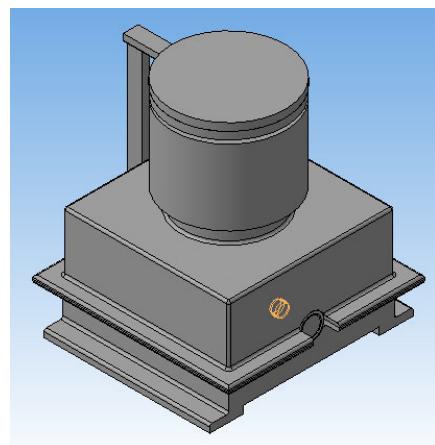


Рисунок5. Модель машины трения в сборе

Схема установки и 3D модель машины трения соответствуют требованиям, выдвинутым в начале работы, а проверочные расчеты доказали работоспособность машины.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов. 2-е изд. переработ. и доп./ А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с., ил;
2. Крагельский И.В., Трение и износ: 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.: Табл. 60, илл. 253.
3. ГОСТ 27674-88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. 1988г;
4. http://www.reduktor-mex.ru/files/u/catalog/1668/bonfiglioli_a_01.pdf
5. Зорин В.А. Основы долговечности строительных и дорожных машин: Учеб. пособие для вузов по специальности «Строительные и дорожные машины и оборудование» / В.А. Зорин. - М.: Машиностроение, 1986. - 248 с.;
6. Проников А.С. Надёжность машин: М.: Машиностроение, 1978. - 592 с., ил. - (Межиздательская серия «Надёжность и качество»);
7. Волков Ю.В. Волкова З.А. Кайгородцев Л.М. Долговечность машин, работающих в абразивной среде: Для инженерно-технических работников. — М.: Машиностроение, 1964. — 116 с. Рецензент канд. техн. наук В.М. Враславский. Редактор инж. В.И. Куманин.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРОВ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Введение. На сегодняшний день по-прежнему актуальна проблема малого срока службы машин. Известно, что примерно 80-90% отказов происходит из-за износа узлов трения машин и механизмов, таких как направляющие скольжения, зубчатые передачи, а также подшипники скольжения и качения. Существуют различные методы повышения износостойкости: механическое упрочнение поверхностей деталей (дробеструйная и пескоструйная обработка, обкатка роликами и шариками); химико-термическая обработка (азотирование, фосфатирование, цианирование, сульфидирование, цементация и др.); защитные покрытия (нанесение гальванических покрытий, а также пропитка лаками и окрашивание деталей). Но одним из самых распространенных способов снижения износа трущихся поверхностей является применение смазочного материала, для улучшения свойств которого используются так называемые модификаторы трения.

В качестве модификаторов могут выступать функциональные твердые добавки, позволяющие уменьшить трение и износ сопряженных поверхностей при ужесточении режима эксплуатации. Одной из часто применяемых твердых добавок является дисульфид молибдена [1], кроме того, обоснована целесообразность использования циркония как твердого смазочного материала [2]. В этой работе будет рассмотрено влияние частиц порошков дисульфида молибдена и диоксида циркония на трибологические свойства пластиичного смазочного материала. Главными характеристиками, определяющими действие модификаторов, будут являться концентрация и размер частиц наполнителя.

Цель исследования: поиск оптимальной концентрации модификаторов трения, при которых будет наблюдаться улучшение трибологических свойств смазочного материала, в результате чего будет происходить снижение износа узлов трения, например, подшипников качения.

В качестве базового смазочного материала выберем Таврол-2. Выбор этой смазки объясняется ее широким применением в подшипниках качения и скольжения, зубчатых передачах индустриальных машин и механизмов, передачах станков, конвейеров, а также в узлах трения транспортных средств. Пластиичный смазочный материал Таврол-2 – многоцелевая антифрикционная смазка, которая представляет собой смесь нефтяных масел, загущенную литиевым мылом жирных кислот, с содержанием вязкостной, антиокислительной, противоизносной присадок [3].

Первый из используемых в исследовании наполнителей – это мелкодисперсный порошок дисульфида молибдена MoS_2 с размером частиц 1 мкм, представляющий собой очень мягкие (твердость по шкале Мооса – всего 1-1,5) и жирные кристаллы с серебристым металлическим отблеском, похожие на графит. Следует учесть, что так как кристаллы имеют пластинчатое строение, то при трении они расслаиваются на тончайшие слои, оставляя серовато-зеленый оттенок [4]. Таким образом, основной причиной эффективности данной добавки является слоистое строение и небольшие показатели связующей энергии между слоями, а также высокая степень адгезии на поверхности узлов трения.

В виде второго модификатора трения выступает диоксид циркония, стабилизированный оксидом иттрия (95% ZrO_2 + 5% Y_2O_3) с размером частиц 1 мкм.

Данные модификаторы трения вводились в Таврол-2 в количестве 0.05%, 1%, 5% и 10% масс. от веса смазочного материала. Испытания выполнялись на машине трения ЧШМ – 3,2 в

соответствии с ГОСТ 9490-75. Внешний вид машины трения приведен на рисунке 1, а схема работы – на рисунке 2.



Рисунок 1. Внешний вид четырёхшариковой машины трения ЧШМ-3,2

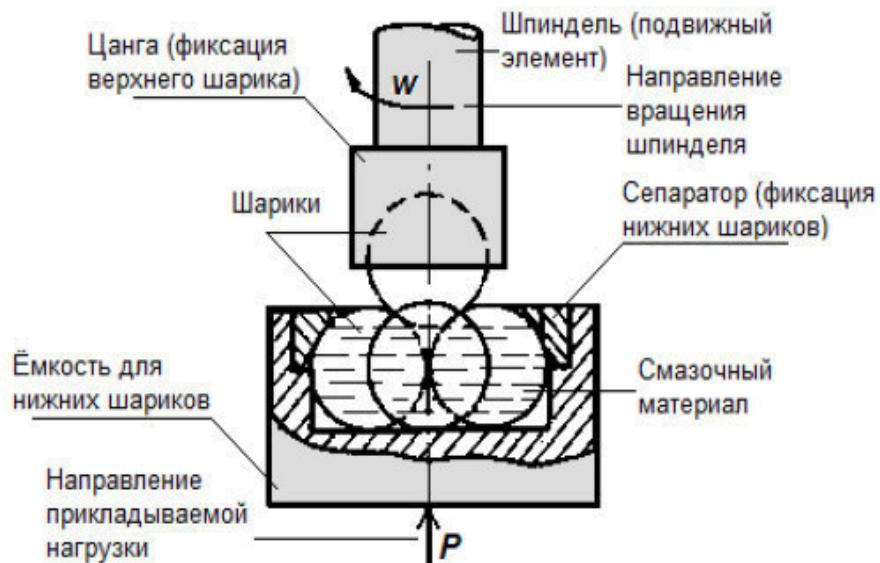


Рисунок 2. Схема основных элементов узла трения машины ЧШМ-3,2

С целью поиска оптимального количества модификатора в смазочной композиции, были построены графики зависимости диаметра пятна износа шаров ЧМТ-3,2 от концентрации порошков дисульфида молибдена и диоксида циркония в Таврол-2 (рисунок 3).

Результаты. Максимальный эффект от введения модификатора трения в пластичный смазочный материал можно наблюдать у мелкодисперсного порошка дисульфида молибдена при концентрации 5% масс. В то же время, при небольшой концентрации модификаторов эффективнее применение диоксида циркония.

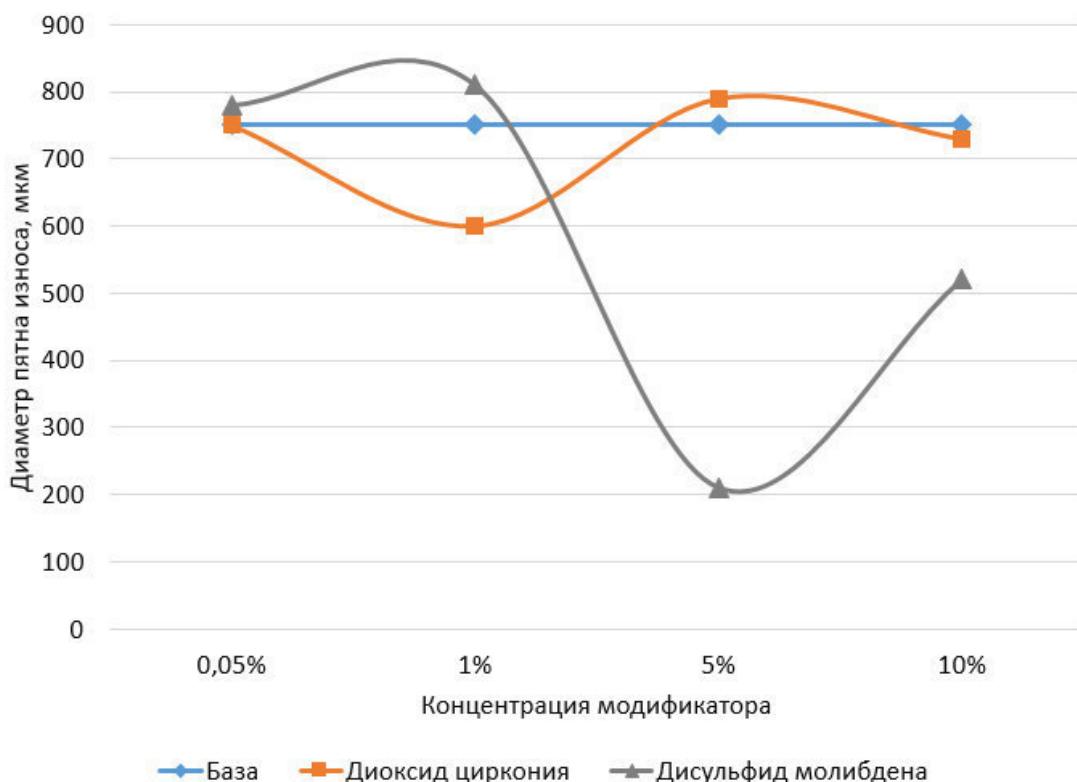


Рисунок 3. График зависимости диаметра пятна износа от концентрации добавки в Таврол-2

Выходы. Исследования показали эффективность снижения износа путем добавления модификаторов трения в смазочный материал. При концентрациях от 0,05% до 1% уменьшение износа наблюдалось при введении диоксида циркония, а при концентрациях от 1% до 5% - при введении дисульфида молибдена.

С целью улучшения влияния порошка диоксида циркония на трибологические свойства смазочной композиции при концентрации более, чем 1% масс., рекомендуется добавление дополнительных присадок [5].

ЛИТЕРАТУРА:

- Хебда М., Чичинадзе А.В. Том 2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения — М.: Машиностроение, 1990. — 416 с.
- Калинович Д.Ф., Кузнецова Л.И., Денисенко Э.Т. Диоксид циркония: свойства и применение - Порошковая металлургия, 1987. - N1, с.98-102.
- Демидов В.А., Симанович В.А., Арико С.Е. Смазочные материалы для узлов трения лесных машин – Минск, 2012. – 68 с.
- Кнунянц И.Л. Том 4: Химическая энциклопедия – М.: Советская энциклопедия, 1995. — 639с.
- Данилов А.М. Применение присадок в топливах для автомобилей: Справочник. – М.: Химия, 2000. – 232 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ АЛМАЗОСДЕРЖАЩИХ НАНОКОМПОЗИТОВ И ТВЁРДОГО СПЛАВА В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ ПО КРУГОВОЙ ТРАЕКТОРИИ ПО СХЕМЕ «РОЛИК – ПЛОСКОСТЬ»

Цель работы – обеспечения надёжности функционирования подшипников главного вала роторных управляемых систем с геостационарной компоновкой управляющего блока.

Объект разработки – подшипник главного вала роторных управляемых систем.

Для реализации сравнительного исследования противоизносных свойств алмазосодержащих нанокомпозитов и твёрдого сплава, в условиях трения скольжения по круговой траектории по схеме «ролик – плоскость» была использована универсальная машина трения 2070 СМТ-1, аналог машины трения ИИ 5018 (рисунок 1, *a*). Данная установка позволяет проводить испытания по различным схемам: «ролик – ролик», «шар – ролик», «колодка – ролик», «вал – втулка», а при наличии дополнительных приспособлений возможны и другие варианты испытаний, в том числе в соответствии с ГОСТ [1, 2, 3].

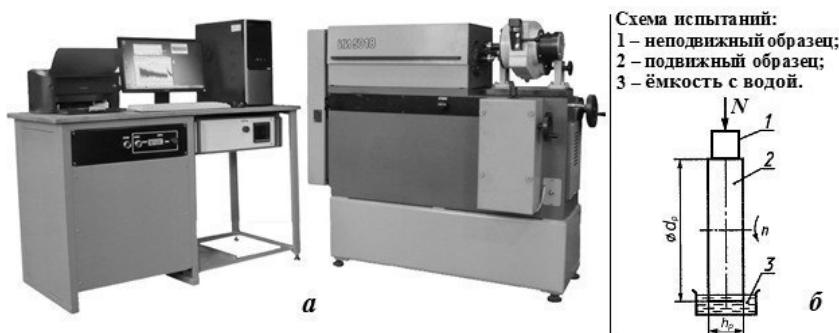


Рисунок 1. Универсальная машина трения ИИ 5018:
a – внешний вид машины трения; *б* – схема испытаний

Для исследования образцов алмазосодержащих нанокомпозитов и твёрдого сплава на износ в условиях скольжения поверхностей реализовывалась схема, показанная на рисунке 1, *б*. Испытуемые образцы, в зависимости от своих геометрических параметров, жестко закреплялись в спроектированные и созданные для них оправки, и в процессе опытов были неподвижны. Оправки с испытуемыми образцами жёстко крепились в спроектированной для решения поставленных задач оснастке (приложение №3). Подвижный образец представлял из себя алмазный шлифовальный круг (ролик), диаметром 50 мм и крепился на нижнем (вращающемся) валу машины трения. Сведения об алмазном круге приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сведения об алмазном круге (данные производителя)

Форма и условные обозначения	1A1 50x16x3x16 [4]
Марка и зернистость алмазного порошка	AC 125/100
Относительная концентрация	100%
Марка связки	B2-01
Содержание алмазов, карат	31,0
Предельно допустимая скорость	35 м/с

После закрепления подвижного образца, его нижняя часть погружалась в ёмкость с водой комнатной температуры $\approx 20^{\circ}\text{C}$ (рисунок 1, б). Погружение производилось на глубину (приблизительно равную 0,5 его радиуса), необходимую и достаточную для того, чтобы при вращении его верхняя часть и зона трения обильно смачивалась водой. После погружения включали электродвигатель и полностью смачивали подвижный образец, а затем выключали электродвигатель. Далее приводили испытуемый образец в контакт со смоченным алмазным кругом под нагрузкой, определённой методикой, после чего включали электродвигатель с заданной частотой вращения вала, равной 1000 об/мин. Испытания проводили по методике дискретного ступенчатого нагружения пары трения, сущность которой состоит в следующем: 1) выбирается ряд нагрузок на пару трения; 2) каждая последующая нагрузка больше предыдущей на некоторую величину; 3) при каждой нагрузке проводится по два опыта: длительность второго опыта превышает длительность первого; 4) все опыты на всём ряде нагрузок проводятся на одной и той же трущейся поверхности пары трения. В границах данной работы выбрали следующий ряд нагрузок на пары трения: 25Н, 160Н, 240Н, 350Н, 450Н. При каждой нагрузке проводилось два последовательных опыта, один длительностью 1 мин, следующий длительностью 5 мин. При этом суммарное время испытания одной пары трения (соответственно одного образца вставки) составляло 30 минут.

Результаты испытаний:

Образцы ВНИИТС Гр№3 и твёрдый сплав Гр№4 достигли предельной ширины лунки износа уже на первой минуте испытания, поэтому сравнение всех образцов можно реализовать только на этом интервале времени. Ширина лунки износа после первой минуты фрикционного взаимодействия у испытуемых образцов составила 0,95мм у Гр№1, 2,5мм у Гр№2, 3,4мм у Гр№3 и 7,8мм у Гр№4. Соответственно ширина лунки износа оказалась у образца Гр№2 в $\approx 2,63$ раза больше, чем на образце Гр№1, у образца Гр№3 в $\approx 3,58$ раза больше, чем на образце Гр№1, у образца Гр№4 в $\approx 8,2$ раз больше, чем на образце Гр№1. Таким образом, предложенный состав материала 97% поликристаллический алмаз-3% бора и твёрдый сплав существенно уступают по противоизносным свойствам составам образцов Гр№1 и Гр№2. Для изготовления подшипника главного вала роторных управляемых систем подходят образцы группы 1 и 2, т.к они наиболее износостойкие.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р 51860-2002. Обеспечение износостойкости изделий. Оценка противоизносных свойств смазочных материалов методом «шар – цилиндр». – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 8 с.
2. ГОСТ 16167-90. Межгосударственный стандарт. Круги алмазные шлифовальные плоские прямого профиля формы 1А1. Основные размеры. . – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 12 с.
3. ГОСТ 27674-88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. . – М.: Издательство стандартов, 1988. – 21 с.
4. Головин Ю.И. Наномир без формул. — М.: Бином, 2012. — С. 543

М.Р. Василевский¹, В.А. Александров²¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М.Кирова

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ТРАНСМИССИИ ТРАКТОРА КИРОВЕЦ К-4

Введение. Данное исследование имеет прямой прикладной характер и направлено на решение проблемы, возникшей на АО «Петербургский тракторный завод». Была поставлена задача теоретически определить динамическую нагруженность трансмиссии трактора Кировец К-4, чтобы исключить возможность неправильной конструкторской компоновки трансмиссии трактора, в следствии чего, могло бы возникать разрушение карданного вала между двигателем внутреннего сгорания и коробкой передач [1].

Методика исследования – математическое моделирование.

Исследование проводилось на трехмассовой эквивалентной схеме при различных времени разгона и стопорения системы и при разных упругих муфтах, используемых в трансмиссии, которые и имеют различную крутильную жесткость. Первый расчет проведен с установленной упругой муфтой 424-16.00.010 производства АО «ПТЗ», которая имеет крутильную жесткость 188000 Нм/рад, второй расчет сделан с установленной упругой муфтой производства фирмы Centa, которая имеет крутильную жесткость 6000 Нм/рад.

На рисунке 1 представлена исходная расчетная схема.

На рисунке 2 представлена эквивалентная трехмассовая расчетная схема.

Математический анализ системы проводился на основании составления уравнений Лагранжа II рода [2].

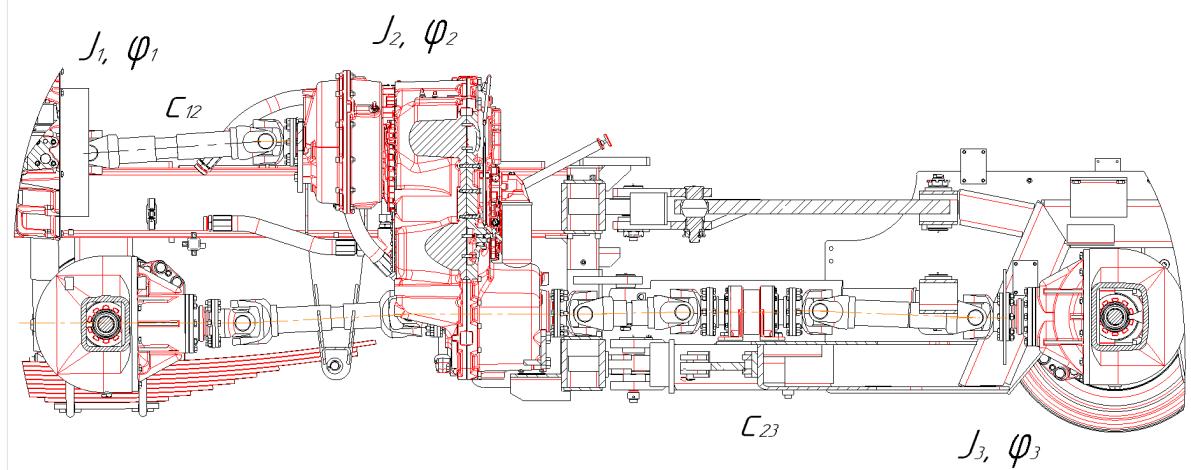


Рисунок 1. Исходная расчетная схема

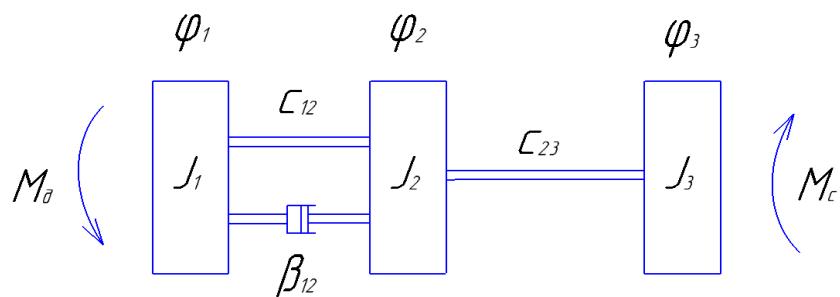


Рисунок 2. Эквивалентная трехмассовая расчетная схема

Выполнив все необходимые действия в соответствии с уравнением Лагранжа II-го рода и проделав все необходимые преобразования получим окончательное уравнение вида [3]:

$$(\varphi_1^{IV} - \varphi_2^{IV}) + A(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) + B(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + C(\varphi_1 - \varphi_2) + D(\varphi_1 - \varphi_2) = E, \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} A &= \frac{J_2 * J_3 * (J_1 + J_2) * \beta_{12}}{J_1 * J_2^2 * J_3}, \frac{1}{c}; \\ B &= \left[\frac{(J_2 + J_3) * c_{23} * J_1 * J_2 + J_2 * J_3 * (J_1 + J_2) * c_{23}}{J_1 * J_2^2 * J_3} \right], \frac{1}{c^2}; \\ C &= \left[\frac{(J_2 + J_3) * c_{23} * (J_1 + J_2) * \beta_{12} - J_1 * J_3 * c_{23} * \beta_{12}}{J_1 * J_2^2 * J_3} \right], \frac{1}{c^3}; \\ D &= \left[\frac{(J_2 + J_3) * c_{23} * (J_1 + J_2) * c_{12} - J_3 * c_{12} * J_1 * c_{23}}{J_1 * J_2^2 * J_3} \right], \frac{1}{c^4}; \\ E &= - \left[\frac{(J_2 + J_3) * c_{23} * J_2 * M_d}{J_1 * c_{23}} + J_2 * M_c \right] * \frac{c_{23}}{J_2^2 * J_3}. \end{aligned}$$

Результаты исследования.

Численное решение дифференциального уравнения и нахождение коэффициентов уравнения выполнено методом Рунге-Кутта в компьютерной программе Mathcad.

Принятые обозначения:

J_1, J_2, J_3 – моменты инерции двигателя и ведущих частей упругой муфты + ведомых частей упругой муфты и половины карданной передачи между двигателем и КП + гидротрансформатора и половины карданной передачи между двигателем и КП соответственно; момент инерции КП при заблокированном гидротрансформаторе, половины карданной передачи между КП и передним мостом и половины карданной передачи между КП и задним мостом; момент инерции конечных передач + ведущих колес и поступательно движущейся массы трактора соответственно.

c_{12}, c_{23} – суммарные жесткости упругой муфты + карданного вала на входе КП + вала между турбинным колесом и гидротрансформатора и КП и жесткость карданного вала на выходе КП + жесткость полуосей моста соответственно.

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – угловые перемещения масс с моментами инерции соответственно J_1, J_2, J_3 .

β_{12} – коэффициент поглощения энергии: упругими резиновыми элементами (0,5) и стальными карданными валами и полуосями.

В таблице 1 представлены значения для исходных данных.

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Параметр	Значение на передаче								
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	R1	R2	R3
$J_1, \text{ кг}/\text{м}^2$	2,414								
$J_2, \text{ кг}/\text{м}^2$	0,255								
$J_3, \text{ кг}/\text{м}^2$	0,889								
$J_4, \text{ кг}/\text{м}^2$	0,493	0,985	0,612	1,263	1,279	2,836	0,497	0,627	1,367
$J_5, \text{ кг}/\text{м}^2$	0,005	0,012	0,031	0,074	0,179	0,424	0,006	0,035	0,199
$J_6, \text{ кг}/\text{м}^2$	0,467	1,105	2,840	6,720	16,26	38,43	0,519	3,159	18,07
$c_1, \text{ Нм}/\text{рад}$ - муфта 424-16.00.010 - муфта Сента	188000 6000								
$c_2, \text{ Нм}/\text{рад}$	215000								
$c_3, \text{ Нм}/\text{рад}$	79000								
$c_4, \text{ Нм}/\text{рад}$	17940	42469	109144	258241	625448	1476971	19953	121416	694413
$c_5, \text{ Нм}/\text{рад}$	210	498	1280	3030	7337	17327	234	1424	8146

В таблицах 2 и 3 представлены результаты расчета с установленными муфтами 424-16.00.010 и Centa в режиме разгона системы при движении трактора на первой передаче.

Таблица 2. Результаты расчета, установлена муфта 424-16.00.010

Характеристики	$\ddot{\Theta}_1$, рад/с ²			
	0,25	0,5	0,75	1
Θ_1 , рад	$3,211 \cdot 10^{-6}$	$6,423 \cdot 10^{-6}$	$9,634 \cdot 10^{-6}$	$1,285 \cdot 10^{-5}$
$\dot{\Theta}_1$, рад/с	$9,945 \cdot 10^{-4}$	$1,989 \cdot 10^{-3}$	$2,983 \cdot 10^{-3}$	$3,978 \cdot 10^{-3}$
$\ddot{\Theta}_1$, рад/сек ²	0,354	0,708	1,061	1,415
$M_{дин.}$, Н*м	0,19	0,39	0,59	0,78
K_d	1,0003	1,0005	1,0008	1,001

Таблица 3. Результаты расчета, установлена муфта Centa

Характеристики	$\ddot{\Theta}_1$, рад/с ²			
	0,25	0,5	0,75	1
Θ_1 , рад	$1,84 \cdot 10^{-6}$	$3,677 \cdot 10^{-6}$	$5,516 \cdot 10^{-6}$	$7,354 \cdot 10^{-6}$
$\dot{\Theta}_1$, рад/с	$6,916 \cdot 10^{-4}$	$1,382 \cdot 10^{-3}$	$2,073 \cdot 10^{-3}$	$2,764 \cdot 10^{-3}$
$\ddot{\Theta}_1$, рад/сек ²	0,32	0,64	0,959	1,279
$M_{дин.}$, Н*м	0,22	0,44	0,66	0,88
K_d	1,0003	1,0006	1,0009	1,001

Выходы. Результаты расчета показывают, что динамический момент в области участка между двигателем и КП незначителен и не превышает допустимых значений. Размах добавочных крутильных колебаний с муфтой 424-16.00.010 варьируется от 0,17 [Нм] до 1,49 [Нм] в режиме разгона системы и от 13,9 [Нм] до 65,8 [Нм] в режиме стопорения системы. С муфтой Centa – в режиме разгона системы от 0,06 [Нм] до 0,88 [Нм]; в режиме стопорения системы – от 8,57 [Нм] до 37,8 [Нм]. Расчет показывает, что при условии качественного изготовления всех входящих деталей, дополнительный динамический момент, образующийся в системе не окажет разрушающего влияния на элементы трансмиссии.

Наиболее нагруженным является режим стопорения системы.

Предложенная математическая модель позволяет определять динамическую нагруженность трансмиссии на стадии разработки конструкторской документации на трактор.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Александров В.А. Моделирование технологических процессов лесных машин: Учебник для вузов.-М.:Экология, 1995
2. Упиров П.П. Совершенствование методов оценки нагруженности и долговечности деталей на примере механической и гидромеханической трансмиссий промышленной модификации гусеничного сельскохозяйственного трактора: дис. ...канд. техн. наук / П.П. Упиров.-Красноярск, 1977
3. Клинов А.А. Экспериментальный промышленный трактор для исследования оптимизации энергонасыщенности / А.А. Клинов // Совершенствование конструкций и повышение надежности тракторов и погрузчиков: сб. ст. КрасГАУ.-Красноярск, 2003.-С.18-27

СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА И ДИЗАЙН»

УДК 003.63:366.636

Е.В. Кузиленкова, В.В. Лаптев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТИПОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИНФОГРАФИКИ В СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВАХ МАССОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Введение. Современная инфографика — это сложный синтетический продукт, который может совмещаться с различными аудиовизуальными компонентами (фотографиями, иллюстрациями, видео- и 3d-объектами), тем самым удовлетворяя общественный запрос с точки зрения потребления информации. Поэтому во многих средствах массовой информации и компаниях по видеопроизводству созданы целые отделы инфографики, где в кооперации работают дизайнеры, художники, аниматоры и журналисты. Например, в компании «Меркатор»; в специализированных отделах инфографики при ИАР «ТАСС», МИА «Россия сегодня»; в газетах «Деловой Петербург», «Коммерсантъ», «Ведомости»; в журналах «Эксперт», «Русский репортер», «Вокруг света», «Популярная механика», «Секреты фирмы», «Финанс», «Город 812»; в интернет-изданиях «Лента.ру», «Газета.ру», «Медуза» и т. д. Среди тенденций 2000-х гг. стоит отметить и рост количества профессиональных сообществ и профильных сайтов, посвященных проблемам инфографики и ее совершенствованию (например, infographer.ru, infogra.ru, metkere.com и др.). Изучение особенностей инфографики в современных средствах массовой информации может помочь оптимизировать процесс восприятия информации.

Актуальность. Постмодернистский период истории развития инфографики до сих пор остается за рамками исследований или освещается в недостаточном объеме [1]. В 2000-х годах произошло перенасыщение медиапространства низкокачественной инфографикой, исчез индивидуальный подход к каждому проекту, информационно-аналитический потенциал был оттеснен на задний план [2]. Закономерной особенностью этого периода является также снижение уровня подготовки инфографов. Поэтому исследования в области информационной графики позволили бы высвободить дизайнеров, инфографов из плены графических шаблонов [3].

Цель работы. Выявление основных типов инфографики и ключевых особенностей визуализации данных в современных средствах массовой информации на примере студии инфографики дизайн-центра МИА «Россия сегодня» — одного из самых крупных отделов по созданию инфографики в России.

Задачи. Для достижения поставленной цели необходимо рассмотреть особенности развития инфографики в современных средствах массовой информации и выявить основные типы инфографики и ключевые характеристики визуализации данных в современных средствах массовой информации.

Исследование. Если радикальные изменения, приведшие к появлению в арсенале современного журналиста информационной графики, начались в 1980-х гг., когда на Западе инфографику рассматривали как особый вид нарратива [4], то в советской, а впоследствии и в российской журналистике процесс растянулся на 1990–2000 гг. [5]. Именно в этот период происходит становление ИД «Коммерсантъ» — одной из самых авторитетных и влиятельных медиаструктур в стране. Благодаря бизнес-семинарам, которые организовывал ИД «Коммерсантъ» совместно с Высшей школой экономики и Harvard Business School, появилось приложение к еженедельнику «Коммерсантъ Деньги» — «Секрет фирмы». Это

первый медиа-проект в современных российских СМИ, состоящий из инфографики, впоследствии издававшийся уже как самостоятельный журнал. В этот период подобной визуальной стратегией воспользовались печатные СМИ в России. Например, журнал «Все ясно», издававшийся с 2004 по 2007 год, тоже полностью состоял из инфографики. Однако подобные издания не становились коммерчески успешными и, как правило, их судьба складывалась по одному сценарию — перепродажа между медиа-холдингами и скорое закрытие.

Начиная с 2007 года, инфографику начинают активно использовать в сети Интернет. Первопроходцем среди современных сетевых средств массовой информации, использующих инфографику как самостоятельный формат, стало Российское агентство международной информации «РИА Новости», которое в 2007 году приняло мультимедийную стратегию развития. В агентстве были созданы студии инфографики (позднее — Дизайн-центр «РИА Новости»), и за семь лет небольшая группа дизайнеров превратилась в одно из крупнейших инфографических бюро мира. В 2013 году после ликвидации «РИА Новости» на его основе было создано «Международное информационное агентство „Россия сегодня“». Но после этих изменений 37 сотрудников студии инфографики покинули это информационное агентство и стали создавать инфографику в других медиахолдингах.

На сегодняшний день сетевое издание «РИА Новости» имеет самый большой личный архив инфографики с 2007 по 2019 год — за 12 лет студия инфографики выпустила 6733 материала. Поэтому в рамках исследования инфографики в современных средствах массовой информации нами был выбран именно этот ресурс. В процессе работы был использован метод сравнительного анализа, который позволил выявить ключевые особенности визуализации данных, на основе которых возможна дальнейшая типизация инфографики в СМИ.

Исследование проводилось в несколько этапов. На первом этапе был определен период для анализа инфографики сетевого издания «РИА Новости» и настроена поисковая система. Для первичного анализа данной инфографики был выбран годовой период с 17.09.2018 по 17.09.2019 года. Также в поисковую систему был добавлен тег «инфографика», что позволило отфильтровать публикации таким образом, что было показано точное количество материалов с инфографикой за данный период. Результатом стало 114 инфографических материалов. На втором этапе были разработаны следующие критерии по предполагаемой типизации инфографики: по типу контента, по структуре подачи и по сфере применения инфографики.

Во время анализа материалов, было выявлено, что по типу контента инфографику можно разделить на событийную, справочную и аналитическую, которая в равной степени представлена за данный период в исследуемом архиве инфографики. Событийная инфографика конкретно привязана к времени, месту и действию, выступает основным носителем оперативной информации в той или иной сфере действительности. Такого рода инфографика, как правило, содержит от 1 до 3 графиков, диаграмм, карт или таблиц. Единственное принципиальное различие заключается во времени публикации. Если это чрезвычайное происшествие, то инфографика оперативно публикуется через 2–3 часа с момента события. В преддверии запланированного события целенаправленно разрабатывается инфографика, которая будет опубликована за несколько часов или даже дней до начала события. Также встречается тип инфографики, в котором подводятся итоги события. Такие материалы публикуются спустя 1–2 дня.

Справочная инфографика схожа с событийной, однако для такого типа инфографики в приоритете стоит задача не столько оперативно осветить событие, сколько осведомить, дать краткую справку по какому-либо актуальному вопросу современности. Она носит ознакомительный характер, позволяет аудитории осуществлять своего рода постоянный

мониторинг наиболее значимых проблем. Такая инфографика никогда не привязана к конкретному времени, месту и действию.

Аналитическая инфографика делает акцент на истолковании происходящих событий, процессов, ситуаций, рассматривает проблему с разных точек зрения, делает выводы и строит прогнозы. Для такого типа инфографики характерны большие мультимедийные материалы, комплекс интерактивных графиков, карт, диаграмм, таблиц или длинные инфографические развороты.

По структуре подачи инфографику можно разделить на простую и сложную. Простая инфографика содержит заголовок, лид (краткий анонс материала) и 1–3 графика, карты или диаграммы. Как правило, подобную структуру имеет событийная и справочная инфографика, тем самым позволяя аудитории максимально быстро получить информацию. Сложная инфографика включает в себя целый комплекс текстовой информации и визуализации данных (как статичную, так и динамическую инфографику с элементами интерактива). Такую структуру аналитическая инфографика использует для длительного и вдумчивого анализа информации.

В данной типологии нами был выявлен формат-шаблон под названием «Рейтинг российских регионов», который используется не реже, чем раз в месяц. Он представляет собой ранжирование регионов РФ по различным социально-экономическим вопросам. «Рейтинг» состоит из таблицы и интерактивной карты, разделенной на 85 квадратов (столько же, сколько субъектов РФ), отличающихся между собой градиентной шкалой, изменяющейся по насыщенности. Данный шаблон, разработанный студией инфографики «РИА Новости», представляет нестандартную визуализацию — анаморфозу карты России, уникальную и узнаваемую. Подобный шаблон удобен при сопоставлении различных социально-экономических проблем. Однако возникают вопросы визуального восприятия в целом и удобства использования градиентной шкалы в частности. Данный пример может быть интересен для дальнейшего детального изучения.

Классификация инфографики по сфере применения практически совпадает с основным рубрикатором «РИА Новости» в ленте новостей. Если ранжировать данные сферы по количеству упоминаний, то лидирует инфографика, посвященная внутренней экономике (30), затем идет общество (29), внешняя политика (22), внешняя экономика (10), культура (6), внутренняя политика (7), безопасность (4), образование (3), религия (2) и ИТ-сфера (1). Стоит отметить, что самым распространенным источником информации для создания инфографики, в частности посвященной внутренней экономике, служит Росстат.

Выход. В результате исследования нами были предложены критерии для типизации инфографики: по типу контента, по структуре подачи и по сфере применения. Для каждого критерия выделены основные типы с их описанием. Анализ инфографики сетевого издания «РИА Новости» за последние два года выявил следующие ключевые особенности: создание собственных шаблонов для визуализации информации, наличие повторяющихся с разной периодичностью тем, выбор одинаковой цветовой палитры для определенных инфоповодов — терактов и катастроф. Также в ходе анализа инфографики были обнаружены определенные неточности в построении карт и диаграмм, и остаются вопросы по поводу использования градиентной шкалы к шаблону «Рейтинг российских регионов». Разработанная система типизации может быть использована для дальнейшего исследования в области инфографики в средствах массовой информации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Cairo, A. The Functional Art: An introduction to information graphics and visualization / Alberto Cairo. Berkeley : NewRiders, 2012. 384 p.

2. Симакова С.И., Федотовский Ф.И. Инфографика: прошлое, настоящее, будущее // Научный журнал «Знак: проблемное поле медиаобразования». 2016. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/infografika-proshloe-nastoyaschee-budusche> (дата обращения: 07.09.2019)
3. Артюхин В.В. Статистическая графика и инфографика: области применения, актуальные проблемы и критерии оценки // Научный журнал «Прикладная информатика». 2012. №6 (42) [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_18769471_68981149.pdf (дата обращения 07.09.2019)
4. Lankow, J. Infographics: the Power of Visual Storytelling / J. Lankow, J. Ritchie, R. Crooks. New Jersey : John Wiley&Sons Inc. 2012. 263 p.
5. Лаптев В.В. Русская инфографика / В. В. Лаптев. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2018. 399 с.

УДК 681.3.016

Д.Г. Логунов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ В ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМАХ

Введение. Задача построения прогноза некоторого временного ряда статистической выборки данных является актуальной в различных областях индустрии, где используется компьютерная обработка данных — информационных технологиях, инженерной графике, финансовом секторе, энергетике, торговле, транспорте и многих других [1].

Особую ценность подобные прогнозы имеют для информационных систем с многочисленным парком вычислительных машин и большим объемом обрабатываемых данных (проблема bigdata). Современные глобально распределенные облачные системы, такие как социальные сети, поисковые порталы, телекоммуникационные сервисы, и др., имеют инфраструктуру из десятков тысяч виртуальных серверов, установленных во всех регионах мира. Потребление вычислительных ресурсов во многом зависит от рабочей нагрузки со стороны Интернет-пользователей, и их своевременное планирование позволяет значительно сэкономить операционные затраты на поддержание инфраструктуры информационных систем, а также предотвратить сбои в работе Интернет-сервисов, особенно в часы пиковых нагрузок.

Актуальность данной темы также состоит в возможности реализации автоматических систем объективного контроля аномалий и заблаговременного восстановления сервисов в период плановой профилактики компьютерного оборудования. Обработка статистических данных на основе прогностических моделей позволяет в реальном времени отслеживать критические отклонения параметров системы, оперативно оповещать о сбоях в работе и тем самым повысить доступность облачных сервисов для пользователей.

Целью работы является исследование прогностических моделей и методов вычислительной математики и определение пределов их применимости для задач прогнозирования временного ряда на примере системной метрики циклического использования ЦПУ компьютера.

Для построения прогноза выбрана авторегрессионная модель с использованием выборки максимального подобия [2], т.к. она графически наиболее соответствуетциальному ряду использования ЦПУ с ярко выраженным суточным циклом рабочей нагрузки (рисунок 1). В качестве источника данных использована реальная статистика ЦПУ на серверах телекоммуникационной компании RingCentral (США), предоставляющей облачные Интернет-сервисы в различных регионах мира [3].

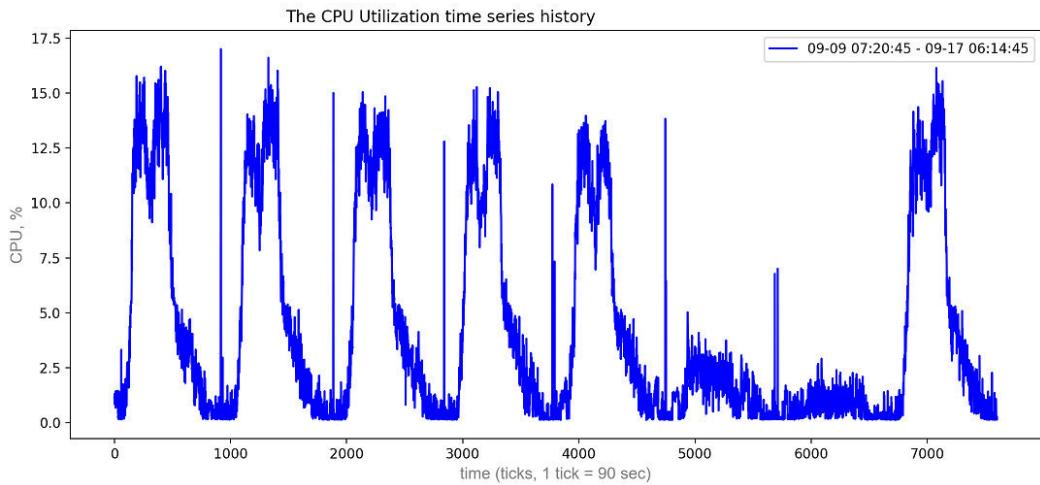


Рисунок 1. Статистика использования ЦПУ с циклической нагрузкой

Исследуемый временной ряд характеризуется постоянными параметрами — длительностью одного цикла, амплитудой колебаний рабочей нагрузки, формой графического изображения (шаблона), отсутствием явно выраженного тренда. Это является следствием равномерной интенсивности работы компьютерных сервисов и отсутствием дополнительных внешних возмущающих факторов, таких как перезагрузка, резервное копирование, сканирование системы и т.п. Распределение каждого суточного цикла использования ЦПУ показывает активность пользователей сервиса с дневными пиковыми и ночными часами. Подобные характеристики циклических процессов достаточно распространены на практике среди временных рядов, описывающих различные пользовательские метрики информационных систем, например количество сетевых соединений, число запросов или сообщений в единицу времени и др.

Результаты обработки и анализа статистики ЦПУ компьютера подтвердили возможность применения авторегрессионной модели с использованием выборки максимального подобия для задачи прогнозирования значений временного ряда, графическое изображение которого имеет повторяющиеся циклы.

В основе авторегрессионной модели с использованием выборки максимального подобия лежит предположение, что каждый следующий цикл может быть выражен как линейная суперпозиция одного или нескольких предыдущих циклов ряда. Коэффициенты в данной линейной связи ищутся исходя из требования минимальности среднеквадратичного отклонения реальных значений временного ряда и значений, аппроксимированных через линейную комбинацию предыдущих циклов. В данной модели алгоритм вычисления прогноза состоит из следующих шагов:

- выбор некоторого отрезка временного ряда, который считается базовым для построения прогноза;
- путем минимизации среднеквадратичного отклонения выбор оптимального участка исторических значений и расчет коэффициентов авторегрессионной модели;
- с использованием коэффициентов, полученных на предыдущем шаге, расчет значений отрезка временного ряда в будущем, являющегося прогнозом.

На графике рисунка 2 представлена корреляция двух циклов в исследуемом временном ряду, которые использовались для расчетов коэффициентов авторегрессионной модели.

На основе рассчитанных коэффициентов авторегрессионной модели построен прогноз (рисунок 3). Тестовые расчеты выполнены с помощью специально разработанного программного кода на языке Python и представлены графически в MSExcel. Средний

расчетный коэффициент детерминации (R^2 квадрат) в рассмотренном примере циклической нагрузки на ЦПУ сервера получился 0,917. Значения в интервале $0,9 < R^2 < 1$ свидетельствуют о достаточно высокой точности прогноза [4, 5].

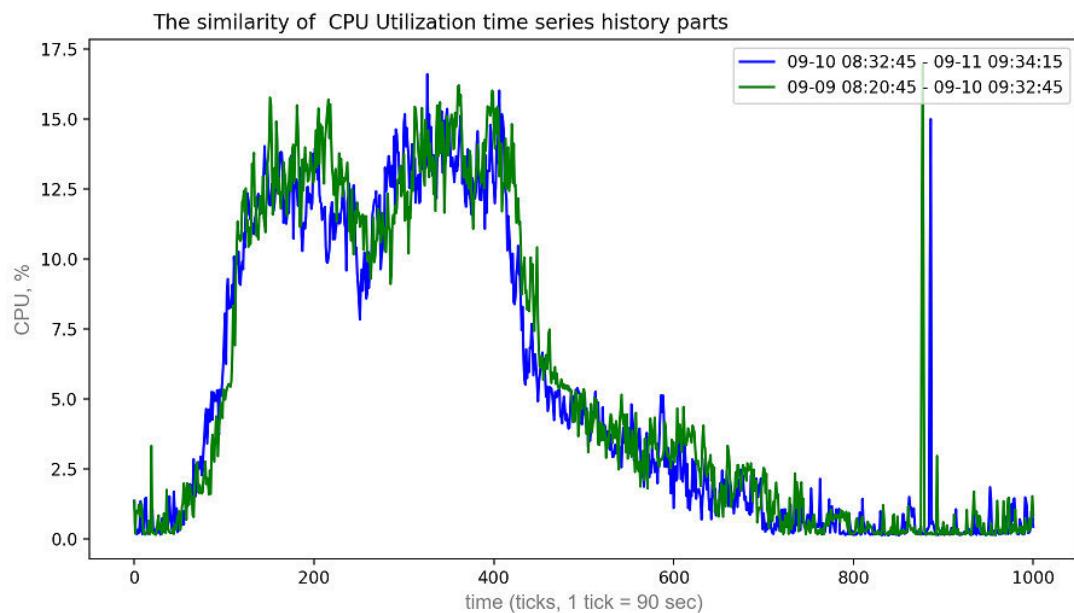


Рисунок 2. Корреляция реальных данных и расчетных значений прогностической модели

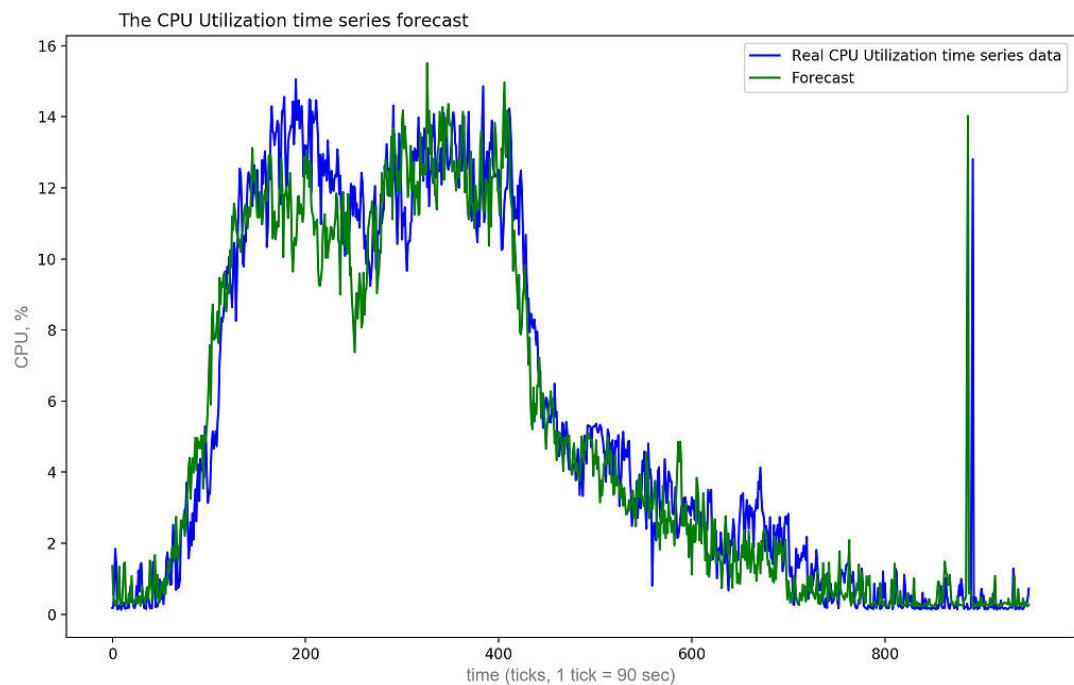


Рисунок 3. Соответствие прогноза реальной статистике на примере временного ряда использования ЦПУ

Выводы. Авторегрессионная модель с использованием выборки максимального подобия хорошо применима для построения достаточно точного прогноза временных рядов, отличающихся циклическим характером. Данный подход может также быть полезен для прогнозирования других вычислительных метрик с ярко выраженным циклом

пользовательской нагрузки, таких как количество Интернет соединений, число веб запросов в единицу времени и других, контролируемых в облачных информационных системах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бокс Дж., Дженкинс Г.М. Анализ временных рядов, прогноз и управление. — М.: Мир, 1994. — 406 с.
2. Чучуева И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия // Дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 155 с.
3. RingCentral Telecommunications Company. <http://www.ringcentral.com>
4. Kucherova K., Mescheryakov S. Prediction Experience and New Model. The 7th Annual International Zabbix Conference, Riga, Latvia, 2017. http://www.zabbix.com/conf2017_agenda.php
5. Кучерова К.Н., Мещеряков С.В., Щемелинин Д.А. Сравнительный анализ систем мониторинга глобально распределенных вычислительных комплексов // Системный анализ в проектировании и управлении: Сб. науч. тр. XX Международной научно-практической конференции, Ч. 2, СПб, СПбПУ, 2016. <http://elib.spbstu.ru/dl/2/k16-18.pdf/info>

УДК 005+311.2

А.И. Хухарева, В.Э. Янчус

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА СПОСОБА СРАВНЕНИЯ КОНЦЕПЦИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО ДИЗАЙНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ

В настоящее время при разработке и внедрении новых дизайн-проектов перед проектировщиком встаёт задача объективной оценки эффективности внесённых изменений, их влияния на различные аспекты деятельности. Исходя из этого, можно утверждать, что задача разработки методики для проведения подобных сравнений является актуальной.

В качестве объекта исследований предлагается дизайн современного медицинского учреждения в России – требования к нему и текущее состояние.

В отличие от зарубежных аналогов, сейчас очень незначительно количество медучреждений в России имеют систему визуальных коммуникаций, которая позволяет пациентам самостоятельно ориентироваться в медицинском учреждении. Кроме того, слабо распространены такие элементы коммуникационного дизайна как информационные брошюры и плакаты, быстро и эффективно доносящие до пациентов алгоритм действий, которые они должны предпринять для скорейшего получения требуемой услуги. Внедрение подобной системы позволит не только экономить время больных и медицинского персонала, но и сделает систему более «прозрачной» для восприятия пациента, давая ему чувство контроля над ситуацией.

Поскольку информационный дизайн определяется большой совокупностью факторов, оценка которых зачастую является субъективной, то для сравнения нового дизайна и понимания того, как он справляется с поставленным перед ним задачами, предлагается использовать метод факторного анализа.

Это набор методов и действий, используемый для выделения из множества наиболее значимых переменных — факторов и выявления взаимосвязей между выделенными факторами [1].

В результате такого анализа большое число переменных, относящихся к имеющимся наблюдениям, сводят к меньшему количеству независимых влияющих величин-факторов. При этом в один фактор объединяются переменные, сильно коррелирующие между собой. Переменные из разных факторов считаются слабо коррелиирующими между собой.

Как правило, такой анализ проводится в несколько этапов: отбор факторов, классификация и систематизация факторов, моделирование взаимосвязей между результативным и факторными показателями, расчет влияния факторов и оценка роли каждого из них в изменении величины результативного показателя.

В первую очередь перед разрабатываемой методикой стоит задача обеспечить возможность сравнивать два варианта систем визуальной коммуникации (в нашем случае «базовый» - существующий сейчас и «проектный» - разрабатываемый для облегчения ориентирования в медицинских учреждениях) по численным критериям.

Поскольку мы планируем оценивать удобство пользования новыми системами визуальных коммуникаций, то целесообразно применять методики оценки «юзабилити» - характеристики эргономичности и удобства деятельности.

В ходе исследования юзабилити метрик в Институте психологии РАН, Москва были выделены 4 основных группы метрик по их значению [2] (таблица 1).

Таблица 1. Группировки юзабилити-метрик

№	Название группы	Содержание группы
1	Эффективность деятельности	Метрики отражают аспекты результативности деятельности
2	Экономичность деятельности	Метрики отражают затраты на деятельность
3	Надёжность и безопасность деятельности	Метрики направлены на оценку помехоустойчивости выполнения, безошибочности, рисков и возможных опасных последствий деятельности.
4	Удовлетворённость деятельностью	Метрики раскрывают аспекты отношения пользователя к продукту

В рамках рассматриваемого нами примера отсутствуют риски выполнения деятельности и пункт 3 можно заменить на «надёжность деятельности». Для большей определенности и разносторонности оценок метрики каждой группы разделены на технологическую и психологическую подгруппы. Метрики технологической подгруппы отражают аспекты деятельности пользователя, связанные со свойствами продукта, а метрики психологической подгруппы – с особенностями психологических процессов деятельности (таблица 2).

Таблица 2. Разделение групп метрик на технологическую и психологическую

№	Группа метрик	Технологическая подгруппа	Психологическая подгруппа
1	Эффективность деятельности	Результативность	Психологическая эффективность
2	Экономичность деятельности	Процессуальные затраты	Психологические затраты
3	Надёжность деятельности	Результативная надёжность	Психологическая надёжность
4	Удовлетворённость деятельностью	Удовлетворённость свойствами продукта	Субъективная удовлетворённость

Метрики технологической подгруппы «Результативность» отражают внешние, результативные характеристики выполненной деятельности. К ним можно отнести успешность достижения цели пользователем. В нашем случае при оценке коммуникативного

дизайна стоит ввести количественные показатели результата его использования - какой процент пользователей успешно нашёл нужное ему место назначения ориентируясь исключительно на систему указателей в интерьере, время в пути и т.д.).

В подгруппу «Психологическая эффективность» войдут суб-метрики, связанные с эффективностью основных компонентов деятельности, введенных ранее, – анализа информации, принятия решений, планирования, исполнительными действиями. В нашем случае таковыми могут стать к примеру эффективность решений - степень правильности, полноты и своевременности принятия решений, принятых на основе используемых в интерьере информационных коммуникаций.

Аналогичным образом можно сформировать набор метрик и суб-метрик по остальным группам.

Исходя из структуры наших метрик, представляется возможным адаптировать для целей сбора информации методы оценки психологической атмосферы в коллективе по А.Ф. Фидлеру. [3] В основе лежит метод семантического дифференциала. Числовые значения каждой из метрик по предложенным биполярным шкалам дают люди, воспользовавшиеся разработанными концепциями. Сформируем таблицу, которая позволила бы получать оценку требуемых нам метрик по данному методу (таблица 3).

Таблица 3. Пример бланка для количественной оценки эффективности коммуникативного дизайна

При использовании новыми информационными системами вы					
	1	2	3	4	5
Не можете попасть куда запланировали					Всегда попадаете, куда планировали
Тратите длительное время на то, чтобы понять указания					С первого взгляда понимаете, как идти к месту назначения
Требуется несколько раз обратиться к указателям чтобы запомнить маршрут					Маршрут запоминается с первого взгляда
Испытываете стресс от необходимости обращаться к указателям					С удовольствием обращаетесь к указателям
Сталкиваетесь с противоречащими указаниями					Всегда видите верный вариант маршрута
Сомневаетесь в правильности указателей					Абсолютно уверены в их правильности
Тяготитесь необходимостью консультироваться с указателями					С удовольствием пользуетесь указателями
Не нравится внешний вид указателей					Нравится дизайн и внешний вид указателей

Для повышения надёжности метода опрос должен проводиться не менее, чем 40 реципиентов. Полученные результаты сравниваются с помощью критерия Стюдента [4], теста для сравнения двух независимых выборок.

Для этого необходимо суммировать показатели по каждому признаку и разделить на количество опрошенных. Показатели с наименьшим значением будут являться «слабыми местами» в дизайне и требовать дальнейшего развития в первую очередь.

Подобная методика позволяет проводить сравнение между двумя вариантами дизайна информационных коммуникаций – к примеру, между типовым (существующим в настоящий момент) и разработанным в ходе работ.

В качестве следующего шага по развитию данного метода следует провести эксперимент и проанализировать его результаты по указанному выше алгоритму. В случае, если методика будет работать на нашем частном случае, то её можно будет предложить и для других случаев.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Брушлинский А.В. «Проблемы психологии субъекта». М.: Изд-во «Институт психологии РАН». 1994 – 106 с.
2. Костин А.Н. «Разработка юзабилити метрик для эргономической экспертизы компьютерных продуктов на основе субъектно-деятельностного подхода // Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии эргономики» Выпуск 1. М.: Изд-во «Институт психологии РАН». 2009. С. 450- 477
3. Фетискин Н.П., Козлов В.В., Мануйлов Г.М. «Методика оценки психологической атмосферы в коллективе (по А.Ф.Фидлеру)/ Социально-психологическая диагностика развития личности и малых групп.» М., Изд-во Института Психотерапии. 2002. С.190-191
4. Кабаков, Р.И. «R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R» / Роберт И. Кабаков // пер. с англ. Полины А. Волковой. – М.: ДМКПресс, 2014. – 588 с.

УДК 339.138

Н.А. Барткевичуте, А. Г. Зубов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РЕБРЕНДИНГ ФИРМЕННОГО ЗНАКА ДЛЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПЕТРА ВЕЛИКОГО: ЧЕРТЫ, СТИЛИЗАЦИЯ

На сегодняшний день крупные корпорации конкурируют на рынке не только благодаря, выпускаемой продукции, но и фирменным стилем, который является неотъемлемой частью продвижения товара на рынок. Особенно хотелось бы отметить его главный компонент - фирменный знак. Облик организации в глазах потребителя во многом зависит от работы дизайнера. Фирменные знаки, логотипы университетов определяют бренд, гарантирующий качество [1].

Фирменный стиль включает в себя различные аспекты, формирующих внешний облик фирмы. С помощью различных визуальных приемов создается впечатление на конкурентов, потребителей, демонстрируется подход кампании к бизнесу.

Функции фирменного стиля несут в себе демонстрацию имиджа и идентификацию его в мире бизнеса [2]. Графический образ является константой стиля компании и ее идеологии. Целью данного исследования является создание ребрендинга фирменного знака для Санкт-Петербургского политехнического Университета Петра Великого. Для этого выполнен ряд задач: рассмотрен предыдущий логотип и его формирующие, собрана информация о истории университета, проведен обзор и анализ аналогов, сформирован опрос о существующем знаке, создана концепция и ее графическое решение на различных носителях.

Фирменный стиль включает в себя и создание фирменного знака. Фирменный товарный знак – это графическое изображение, являющееся символом фирмы, индивидуализатором [3]. Знак совместно со шрифтовой композицией, название компании, контакты, эмблема, слоган, графические элементы, подписи – формируют блок, называемый фирменным блоком.

Логотип же является элементом фирменного стиля, представляющим собой уникальное начертание полного или сокращенного наименования компании [4, 5]. В дополнение к логотипу фирменный знак помогает усилить идентификацию компании: он дает возможность передать дополнительную информацию, добавить эмоциональный или смысловой акцент.

Ребрендинг существующего знака означает разработку новой концепции, сохраняющую традиции старого бренда.

Отправное создание знака занимает немало времени. Стоит отметить несколько этапов работы: поиск определенного образа, сравнение существующего варианта с аналогичными конкурентными, процесс создания и стилизации. Проектирование диктует упрощение, отброс деталей, переход к общности формы и выявление отличительных черт и особенностей. В большинстве случаев используются наброски, зарисовки, как от руки, так и в компьютерных программах [6, 7]. Рассмотрим на примере. (Рисунок 1.)

Существующим фирменным цветом является зеленый оттенок, фирменный знак представлен в виде стилизованной буквы «Пи», числа «Пи» из математики. Знак выглядит минималистично, современно, но не ассоциируется с техникой и конструкциями в широком смысле, также не отличается статусностью и репрезентативностью, порой служит поводом насмешек среди студентов.



Рисунок 1.Фирменные знаки университетов

Сравнительный анализ существующих фирменных знаков показывает, что Санкт-Петербургский Государственный Университет представлен эмблемой в виде орла, знак – в виде упрощенной фигурки птицы серого оттенка. Он обладает строгостью, величественностью, узнаваемостью, но спорен обилием деталей.

Санкт-Петербургский Государственный Университет Аэрокосмического Приборостроения представлен в виде перекрещенных млечных путей, либо звезды, какого-то спутника. Отражает направленность университета, выглядит минималистично и современно. Знак ИТМО является закодированным с помощью двоичной системы собственное название. Представляется картой, облаком знаний, матрицей, демонстрирует идею единения. Современный, узнаваемый, но немного дробный. Обилие мелких деталей.

Не ограничиваясь отечественными аналогами, стоит обратить внимание на зарубежные. Массачусетский Технический Университет представлен в виде букв MIT сложенных из брусков, выглядит технично, лаконично, но буквы «Т» выглядят неоднозначно, напоминая кириллическую букву «Г» и верхняя плашка достаточно дробна. Делфтский Технический университет представлен в виде надписи с факелом, напоминающим маяк или космическую вышку, отражая данные аспекты в направлениях подготовки. Датский Технический Университет обладает узнаваемым техническим знаком, напоминающим шахматную доску.

Подведя итоги анализа, следует отметить, что технические ВУЗы в целом отражают свое направление деятельности в фирменном знаке, посредством цветов и ассоциаций. Ввиду этого, была предложена новая концепция: образ пентагона, многоугольника, соты, как символа единого целого, а также греческая буква «П», напоминающая единицу или полосу, ленту. В ходе работы концепция была сформирована от исходного образа буквы «Пи» до трех букв «П», демонстрирующих также разработанный слоган: «Политех, Петр, Первый», а также многие другие ассоциации: Петербург, Престиж, Победитель, Паз, Планигон, Pi, Постройка, Платформа, Прорыв, Парабола, Пятиугольник. Конструкция логотипа напоминает трехмерный куб, демонстрируя многогранность и комплексность университета, подчеркивая техническое направление.

Цвет заменен на схожий оттенок, бирюзовый, более спокойный. (67 0 39 0)(Рисунок 2.)

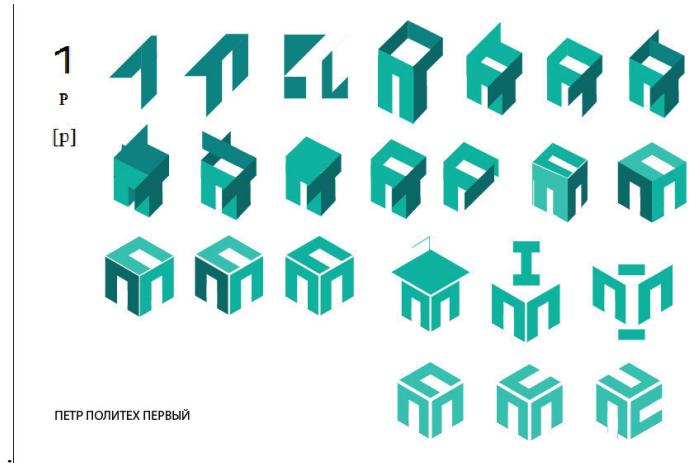


Рисунок 2. Путь создания логотипа

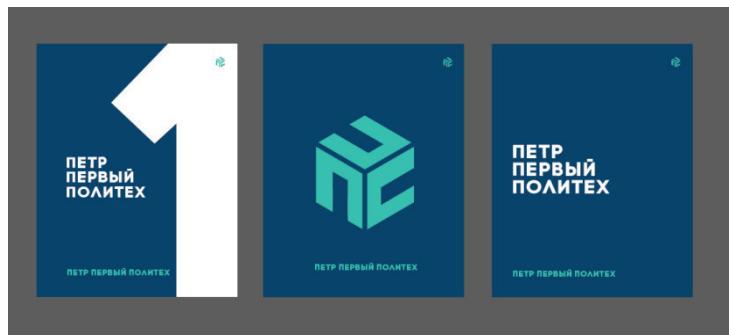


Рисунок 3. Серия плакатов

Знак и слоган дополнены орнаментальным решением, оформлением документации и сувенирной продукции, представленной в различных цветовых решениях.

Таким образом, в результате сбора и анализа информации была разработана новая дизайнерская концепция, (Рисунок 3) включающая логотип, плакаты, сувенирные носители и т.д., и предложено ее применение в качестве реального инструмента привлечения новых обучающихся в университет.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Алексенко Е.В., Алексенко А.А., Немцов И.А. Имидж компании как часть управлеченческой деятельности организации // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 10-2. С. 10-12.
2. Грибова Н. А., Г82 Фирменный стиль в ресторанном бизнесе. Учебное пособие - М.: Мир науки, 2015. - 49 с.
3. Далян М.С., Интеллектуальная собственность в бизнесе, изобретение, товарный знак, ноу-хау, фирменный бренд: новейший юридический справочник./ М. С. Далян.– М.: Эксмо, 2010. – 261 с.
4. Лого или знак [Электронный ресурс]. – URL: https://artalto.com/articles/logo_or_sign/(дата обращения: 06.10.2019).
6. Фирменный знак [Электронный ресурс]. – URL: <http://tovarnyiznak.ru/homepage-content-source/firmennyiy-znak/> (дата обращения: 06.10.2019).
7. Дизайн: стилизация в дизайне [Электронный ресурс]. – URL: <http://learn.unium.ru/uniumdesign/design1/lesson4/>(дата обращения: 06.10.2019).

ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ И ЗАПОМИНАНИЕ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ КОМПОЗИЦИЙ В СТИЛИСТИКЕ КУБИЗМА, АБСТРАКЦИОНИЗМА И РЕАЛИЗМА

Введение. Изучение зрительного восприятия визуальных стимулов играет важную роль в создании изображения (кадра анимации). На основании психологических закономерностей зрительного восприятия и законов композиции, возможно повышение эффективности воздействия современной графической рекламы на зрителя. Исследование зрительного восприятия можно провести с помощью системы фиксации глазодвигательной активности. Исследование предпочтения или игнорирования геометрических фигур в процессе их зрительного восприятия, можно учитывать в области рекламы и маркетинга для поиска эффективных форм представления рекламной продукции с целью привлечения внимания [1].

Окулография — это технология, которая позволяет фиксировать и передавать информацию о движении взгляда человека в реальном времени. Движение взгляда происходит скачками и состоит из фиксаций и саккад. Это основной тип движения глаз. Результаты исследований можно разделить на две группы: визуальные и статистические данные. Визуальные данные преимущественно используются для иллюстрации найденных проблем и особенности поведения. Статистические данные позволяют анализировать множество метрик: число фиксаций, длительность каждой фиксации, время первой фиксации, общее число фиксаций, сколько было фиксаций до посещения зоны интереса, общее время фиксаций и т.д. [2, 3].

В экспериментальном исследовании, в котором испытуемые рассматривали «супрематические» композиции К. Малевича и записывалось движение их глаз, было установлено, что несмысловые композиции способны управлять вниманием зрителя и закономерно ассоциируются в его сознании с конкретными свойствами и качествами предметов. Кроме этого, было установлено, что даже ограниченным количеством изобразительных средств возможно направлять внимание зрителя [4].

В 1981 году Д. Хьюбел и Т. Визел получили нобелевскую премию за изучение первичной зрительной коры. Они доказали, что первый зрительный объект, который детектирует наша затылочная кора, — это линия [5]. Вследствие чего существуют такие художественные стили, как кубизм, абстракционизм и пр.

Гипотеза исследования: шаблон рассматривания несмысловых композиций испытуемыми отличается от шаблона рассматривания фотoreалистичных кадров, благодаря акцентам на цвет, форму и специфичность при решении задачи запоминания изображения и его последующего узнавания среди других аналогичных изображений.

Задача исследования: выяснить, в каком художественном направлении: в кубизме или абстракционизме, графические произведения воспринимаются, запоминаются и воздействуют на зрителя сильнее.

Постановка эксперимента. В качестве инструмента экспериментального исследования используется стационарное ай-трекинговое оборудование SMIRED-250. Для проведения эксперимента необходимо подготовить стимульный материал и разработать методику проведения эксперимента, включающую в себя постановку задачи для испытуемых при рассматривании стимульного материала [6].

Выбор и подготовка стимульного материала.

Для стимульных изображений были взяты художественные произведения с геометрической композицией. Желательно было исключить фактор прямой ассоциации с

конкретным предметом. В стимульном материале представлены изображения в стиле кубизма и абстракционизма. Композиции в основном состоят из абстрактных пятен и простейших геометрических форм: точка, линия, плоскость.

Для сравнения также был выбран стимульный материал в жанре фотографии направления реализм с композицией геометрических форм.

Все композиции, кроме фотографий, являются несмысловыми, непредметными, тем не менее они могут проявлять свойства реальных предметов. Из крупного списка работ в качестве исходных объектов было выбрано 6 наиболее подходящих для эксперимента и 2 контрольных изображения в чёрно-белой гамме. Для преобразования в чёрно-белую гамму взяты оригинальные изображения в стилистике кубизма и абстракционизма. Дополнительно было взято ещё 20 работ — дистракторов. Ещё 8 стимулов были получены путём отражения на 180 градусов нескольких основных дистракторов.

Все изображения имели разное разрешение, поэтому с помощью графического редактора AdobePhotoshop они были подогнаны по форме квадрата, а фон свободного пространства перекрашен в нейтрально-серый. Посредством использования фильтров и инструментов (коррекция — чёрно-белое, трансформирование) из оригинальных изображений получены чёрно-белые и отражённые стимулы (рисунок 1) [6].

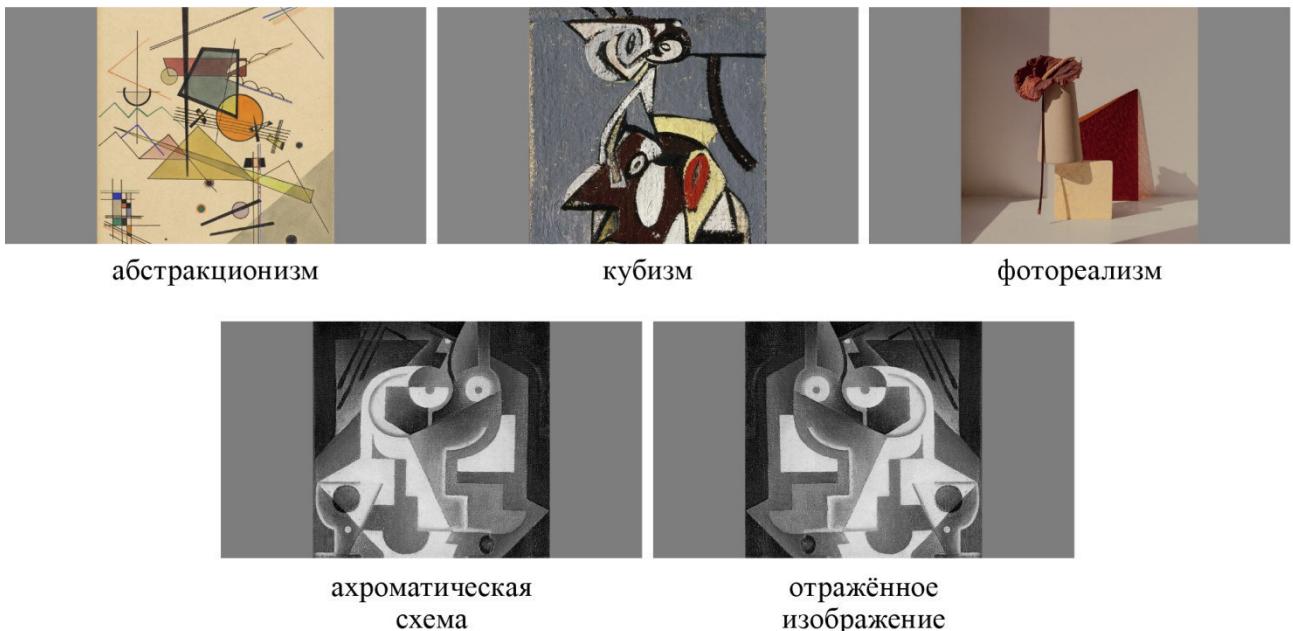


Рисунок 1. Подготовка стимульного материала

Методика проведения эксперимента.

Эксперимент состоял из двух этапов. На первом этапе эксперимента респонденту на мониторе показываются 8 изображений: по 2 в стилистике кубизма, абстракционизма, реализма и чёрно-белое контрольное изображение. Испытуемому поставлена задача: запомнить увиденные изображения. Респондент рассматривал изображения, выводимые программой в случайном порядке, самостоятельно переходя на следующий стимул по мере выполнения задания.

По окончанию первого этапа эксперимента респондент был отвлечён от запоминаемых изображений. Перерыв длился 30 минут.

На втором этапе респонденту требовалось вспомнить изображения при просмотре того же набора стимулов вместе с дополнительными стимулами, воспроизводимых также в

случайном порядке. После рассмотрения каждого стимула респондент должен был ответить «да» или «нет», т.е. видел ли он этот стимул на первом этапе эксперимента или не видел.

Методы статистической обработки [7, 8].

Для статистической обработки данных используется язык программирования «R» — специализированный программный комплекс для статистического анализа и визуализации результатов.

Для получения достоверных статистических данных выборочная совокупность должна содержать не менее 30 элементов из генеральной совокупности [8]. На основании этого утверждения определяется стимульный материал и рассчитывается количество респондентов.

Алгоритм статистической обработки экспериментальных данных состоит из нескольких этапов.

На первом этапе выполняется проверка корректности полученных данных в результате выполнения задания испытуемыми. Обработка происходит вручную, так как необходимо соблюсти большое количество условий для автоматической проверки.

На втором этапе подготавливаются выборки из генеральной совокупности. Исследуемые переменные проверяются на нормальность распределения. В R реализованы практически все существующие тесты на нормальность распределения данных в выборке. Наиболее распространенный способ проверки на нормальность распределения — это тест Шапиро-Уилка.

На третьем этапе происходит сравнение двух выборок при помощи критерия Стьюдента. Для проведения теста Стьюдента данные выборок должны иметь нормальное распределение. При ненормальном распределении данных в выборках применяется критерий Уилкоксона.

Выводы.

Было проведено предварительное тестирование экспериментальной установки, включающей стимульный материал, ай-трекинговое оборудование, поставленная испытуемым задача эксперимента.

Предварительный анализ полученных данных позволил сделать следующие предположения:

- наиболее простые стимулы для запоминания — стимулы в стиле фотореализма;
- шаблон рассматривания стимулов в стиле кубизма и абстракционизма имеет определенную схожесть, а именно, испытуемые делают много ошибок при ответе на поставленный вопрос.

Более точные результаты эксперимента будут после проведения эксперимента в полном объеме (не менее 30 испытуемых) и последующей статистической обработки полученных данных.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Елшанский С.П. Предпочтение и игнорирование простых геометрических фигур в процессе их зрительного восприятия (айтрекерное исследование). [Электронный ресурс]: <http://web.s nauka.ru/> / Режим доступа: <http://web.s nauka.ru/issues/2014/04/32283>(дата обращения: 05.03.2019) — Загл. с экрана.
2. Айтреинг в UX-исследованиях. [Электронный ресурс]: <https://habr.com/ru/> Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/mailru/blog/322324/> (дата обращения: 05.03.2019) — Загл. с экрана.
3. Орлов П.А., Лаптев В.В., Иванов В.М. К вопросу о применении систем ай-трекинга // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2014. № 5 (205). — 82-92 с.
4. Кудин П.А., Ломов Б.Ф., Митъкин А.А. Психология восприятия и искусство плаката. — Москва, «Плакат», 1987. — 208 с.

5. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. — Москва, «Мир», 1990. — 307 с. — ISBN: 5-03-001254-0
6. Experimental Research of Digital Color Correction Models and Their Impact on Visual Fixation of Video Frames / S. V. Mescheryakov, V. E. Yanchus, E. V. Borevich // Humanities and Science University Journal. – 2017. – Vol. 27. – pp. 15-24
7. Методы и алгоритмы экспериментального исследования графических моделей цветовых решений / Е.В. Боревич, С.В. Мещеряков, Д.А. Щемелинин, В.Э. Янчус // Программные системы и вычислительные методы. – 2018. – № 4 – с. 144-153
8. Кабаков, Роберт И. R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R / Роберт И. Кабаков // пер. с англ. Полины А. Волковой. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 588 с.

УДК 72.04

А.К. Жельвите, Е.В. Воронина, О.А. Вуль

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИНТЕРПРЕТАЦИОННАЯ КОЛОРИСТИКА. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФАСАДОВ ДОШКОЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ПЕРИФЕРИЙНЫХ РАЙОНОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Дошкольное воспитание является основополагающим моментом в становлении личности ребенка, формирующим его отношение к окружающему миру и эмоциональные реакции. Развитие и коммуникативные навыки, получаемые ребенком в семье, дополняются помостью дошкольных образовательных учреждениях (ДОУ), к которым относятся детские сады, являющиеся первой образовательной ступенью в жизни дошкольника. Детский сад — место, где дети впервые знакомятся с обществом, учатся выстраивать коммуникации, попадая в широкую социальную среду. Именно с приходом в детский сад запускаются важнейшие процессы социализации ребенка, выстраиваются первые контакты с малознакомыми взрослыми и со сверстниками. Таким образом, одна из главных целей ДОУ — благополучное развитие и социальная адаптация детей. При этом основной задачей дошкольного образовательного учреждения является создание психологически комфортной среды для каждого воспитанника [1].

К важным факторам, обеспечивающим необходимую психологическую адаптацию окружающей среды, относятся интерьер, экстерьер и ландшафт ДОУ. В данной статье рассматривается вопрос дизайна фасадов детских садов в Санкт-Петербурге.

В настоящее время в Северной столице функционируют детские сады, построенные по различным типовым проектам советских лет. До сих пор остаются действующими детские сады, не раз подвергавшиеся частичным реконструкциям и капитальным ремонтам и спроектированные для застраиваемых районов на окраинах города в 40-е годы прошлого столетия. В 1946 году были опубликованы новые нормы проектирования детских садов. В 1948 году в результате конкурсного отбора был осуществлена экспериментальная постройка унифицированного здания детского учреждения по проекту архитектора Р. Смоленской в Измайлово (Москва), ставшего впоследствии типовым проектом, получившим широкое распространение в строительстве. Проект Смоленской показал необходимость унификации зданий детских дошкольных учреждений, что способствовало значительной экономии средств и индустриализации данного вида строительства. Таким образом, с 1948 года по сегодняшний день для постройки муниципальных детских садов используются типовые проекты, которые незначительно меняются в соответствии с современными технологиями жилищного строительства [2, 3].

Социальные проекты СССР послевоенного периода, обеспечившие отдельным жильем и логичной инфраструктурой значительные массы городского населения, повлекли за собой, помимо положительных моментов, и негативные последствия. Архитектурный облик ДОУ,

построенных в середине и во второй половине XX столетия, в наши дни становится визуально непригодным, не соответствующим требованиям времени.

Невысокий уровень качества фасадов детских садов обусловлен тем, что архитекторы и проектировщики прошлого столетия обращали внимание в основном на удовлетворение требований санитарных и пожарных норм, придавая меньшее значение эстетической составляющей. В итоге детские сады не выделяются на фоне застройки микрорайонов, сливаясь с невыразительным рядом окружающих их жилых зданий. Вместе с тем, требования времени рождают спонтанное желание украшательства, что приводит к появлению на фасадах ДОУ случайных росписей и накладных элементов-вставок на «детские темы», или появлению окон случайной формы, не соответствующих назначению помещений.

В результате развития экономики и социальной инфраструктуры страны возникают новые требования к детским садам. В XXI веке важными аспектами является не только обеспечение первичных потребностей воспитанника, — тепла, безопасности, питания, — но и удовлетворение эстетических потребностей. То, как будет выглядеть первое в жизни человека образовательное учреждение, может во многом отразиться на дальнейшем восприятии им мира и выборе будущей профессии.

Одним из возможных путей, направленных на реновацию так называемых «спальных» микрорайонов, построенных во второй половине XX столетия, является акцентное выделение функциональных единиц инфраструктуры посредством колористического решения. Рассмотрим данный подход на примере реконструкции фасадов детских садов, как наиболее востребованных объектов визуального изменения городской среды с точки зрения быстрого и эффективного ее преобразования.

Фасад является элементом, дающим ребенку первое впечатление об увиденном здании. Таким образом, задачей дизайнера является создать такое колористическое и графическое решение фасада, чтобы оно с первого взгляда привлекало дошкольника. Колористическое решение должно соответствовать детскому восприятию цвета. Согласно исследованиям в области восприятия цвета детьми принято использование естественной цветовой модели (NaturalColorSystem, NCS), которая создана в результате научных изысканий, проводимых психологами, физиками, архитекторами и дизайнерами Скандинавского института цвета в Стокгольме. Модель основана на системе противоположных цветов и отсылает нас к системе шести элементарных цветов Леонардо Да Винчи и теории трехмерной цветовой модели АRONA ZIGFRIDA FORSIUSA.

Исходя из вышеупомянутых исследований, дети, начиная с самого раннего возраста, воспринимают три основных цвета: желтый, синий и красный. Желтый — цвет гармонии и спокойствия, благоприятно влияющий на психологическое состояние нервного и склонного к истерикам ребенка; кроме того, желтый цвет стимулирует аппетит. Желтый цвет может доминировать в колористическом решении дошкольного учреждения. Красный — цвет-раздражитель, способный возбудить даже самого спокойного ребенка. Однако красный цвет одновременно возбуждает интерес, концентрирует внимание, что позволяет продуктивно использовать его в процессе обучения. Задача дизайнера — применять красный цвет грамотно, не забывая как о положительных его свойствах, так и об отрицательных. Уместно использование красного цвета как акцентного. Синий — цвет спокойствия и безопасности. На психику ребенка он оказывает успокаивающее и гармонизирующее действие, стимулируя созидательную деятельность.

К важнейшим факторам решения колористики фасадов детских садов Санкт-Петербурга относятся климатические особенности Северной столицы. Санкт-Петербург является малосолнечным городом: на протяжении всей осени, зимы и большей части весны солнечный день катастрофически короток. Всего за год в Петербурге бывает, в среднем, 177 пасмурных дней по общей облачности. В ясные дни средняя продолжительность солнечного

сияния уменьшается от 10,1 часа в июне до 2 часов в декабре. Дефицит света сказывается не только на физическом здоровье горожан, но и на психологическом: нехватка солнечного света, ярких красок и витамина Д способна вызвать депрессию. Таким образом, дизайнер детского учреждения в Санкт-Петербурге должен отдавать предпочтение теплым и ярким цветам — таким, как желтый, оранжевый, и их оттенкам.

Если колористическое решение по большей части влияет на психологическое состояние ребенка, то графическое оформление, связанное с формообразованием на плоскости, может нести образовательную функцию. Становится востребованным использование определенной тематики в дизайн-решении детского сада, что обеспечивает дидактическую роль восприятия визуальных элементов. Существуют детские сады, интерьер и экsterьер которых оформлены в соответствии с заданной темой. Такой прием придает объекту индивидуальность, выделяет его из однообразной массы жилищной застройки, помогает идентификации объекта для детской аудитории. Так, оформление в стиле русской ремесленной традиции предполагает применение традиционных орнаментов — элементов гжельской, хохломской росписей, орнаментов дымковской игрушки, и пр. Наряду с народной тематикой получило распространение тематическое оформление с естественно-научной направленностью (космос, флора и фауна), а также с литературной направленностью (хрестоматийные герои сказок и других литературных произведений). Тематическая заданность оформления ориентирована на появление у ребенка интереса к той или иной сфере знаний. Воплощаясь в современных решениях фасадов детских садов, тематический подход характеризуется появлением нового термина — «интерпретационная колористика».

Названному термину наиболее точно соответствует комплексная стилизация решения фасада по колориту и формообразованию, интерпретация характерных орнаментов и рисунков, соответствующих определенному стилю в изобразительном искусстве или конкретному художнику и его творчеству.

Интерпретация проявляется не только в решении фасада здания, но и в его интерьерах, мебельных элементах, текстиле. Примеры проектирования ДОУ с данным инновационным компонентом представлены в Московском регионе, — например, дизайн детского сада в Бескудниково решен с использованием тематической интерпретации. Декоративное решение фасадов здесь посвящено крестьянскому периоду в творчестве Казимира Малевича, а интерьеры здания — русскому народно-декоративному искусству: дымковской и филимоновской глиняной игрушке [4].

Рассматривая тенденции преобразования городской среды с применением интерпретационной колористики, необходимо коротко осветить технические вопросы реконструкции существующих фасадов ДОУ.

Согласно п. 3.1 Положения о проведении планово-предупредительного ремонта производственных зданий и сооружений, утвержденного постановлением Госстроя СССР от 29.12.1973 № 279, «ремонт зданий и сооружений представляет собой комплекс технических мероприятий, направленных на поддержание или восстановление первоначальных эксплуатационных качеств как здания и сооружения в целом, так и их отдельных конструкций» [5]. Существуют основные пути преобразования фасадов детских садов, позволяющих в наиболее короткие сроки максимально эффективно объединить техническую и эстетическую составляющие. Чаще всего в отечественной практике используются два основных вида отделки: штукатурка «мокрого» типа с последующей покраской и навесные фасадные системы.

Система штукатурки фасада представляет собой способ отделки фасада с использованием смесей, разведенных водой или специальным раствором, и предусматривающий многослойное нанесение с последующей покраской. Традиционность

штукатурного фасада в современных условиях дополняется такими новыми возможностями, как армирование, применение устойчивых красящих составов, и т. д.

Вторым типом отделочных решений фасадов является использование навесных фасадных систем. Вентилируемые навесные фасады представляют собой конструкции, состоящие из материалов облицовки (плит или листовых элементов) и несущего их легкого каркаса, который монтируется к стене таким образом, чтобы между стекловым заполнителем, утеплителем и облицовкой оставался воздушный слой для лучшей термической сохранности и одновременной вентиляции здания. В качестве облицовочного материала в навесных фасадных системах используют керамогранитные плиты, композитные элементы, пластиковые кассеты, металлические перфорированные панели. Применение данных материалов позволяет дизайнеру найти самые необычные решения за счет многообразия цветовой гаммы материалов и возможности придания объема рисунку на фасаде.

Инновационный подход к реконструкции фасадов ДОУ в сочетании с применением современных строительных технологий поможет изменить внешний вид «спальных» микрорайонов, позволит создать уникальный по индивидуальному восприятию, ориентированный на усвоение новых знаний дизайн детских садов, сформировать среду, необходимую для психологически устойчивого развития детей и комфорtnого пребывания взрослых жителей Санкт-Петербурга.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ (ред. от 03.07.2016) "Об образовании в Российской Федерации" (с изм. и доп., вступ. в силу с 04.07.2016): URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/
2. Дорожная карта развития системы дошкольных образовательных учреждений в России: URL: <https://minobr.sakha.gov.ru/files/front/download/id/1130688>.
3. Журавлев А.М. Наумова Н.А. Всеобщая история архитектуры. Т. 12. Книга первая. Архитектура СССР // Архитектура жилых и массовых общественных зданий. 1955—1970.: М., Стройиздат, 1975. — 755 с.
4. Яхкинд С.И. Фасады детских образовательных учреждений. Современные решения // Градостроительство. – 2014, №2(30). – С. 23–28.
5. Гельфонд, А.Л. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений: учебное пособие. – М., Архитектура–С, 2007. – 356 с.

УДК 72.07

Л.Ю. Лобова, З.И. Абдулаева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ ПОПУЛЯРНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ СТИЛЕЙ ПРИ ДИЗАЙН МОДЕЛИРОВАНИИ ИГРОВЫХ ЛОКАЦИЙ

В настоящие времена компьютерные игры являются одним из наиболее крупных сегментов индустрии развлечений. А из-за большой конкуренции, каждая студия-производитель пытается выделиться и по-своему запомниться своим покупателям. Ко всему этому, вычислительная техника и средства обработки графики с каждым годом становятся все мощнее, а чем новее видеокарты, тем больше список требований и ожиданий. За всем этим стоит большой объем работы команды разработчиков, как правило специалистов в самых разных областях. И одну из важных ролей в этой группе занимают дизайнеры уровней. В их задачу входит не только создать красивую игровую среду, но и место, где игрок сможет проникнуться историей и атмосферой представленного окружения [1].

Начнем с того, что любому дизайнеру уровня и художнику по детальному окружению, очень сильно помогают в работе академические знания об архитектуре. Ведь чем точнее автор изобразит ту или иную среду, тем игрок быстрее поймет и проникнется ею. Эти знания прекрасно сочетаются с требованиями, которые предъявляются при моделировании любой локации.

Многие студии в последние годы все больше ориентированы на фотoreалистичное окружение с привязкой на реальные архитектурные сооружения или стили. Это можно проследить на представленном графике, где указан рост частоты использования такого принципа моделирования локаций с 2016 по 2019 гг. (рисунок 1).

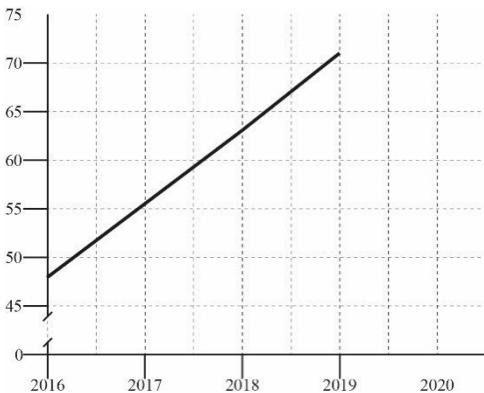


Рисунок 1. График роста частоты использования реальных архитектурных сооружений или стилей в дизайн моделировании игровых локаций

Благодаря этому исследованию, где были рассмотрены все 3D-игры в рамках 3 лет, было обнаружено, что начиная с 2016 г. (47,85%), каждый год, применения данного способа увеличивается на 7,95%. Естественно, это происходит из-за развития технологий, благодаря которым дизайнеры могут по максимуму воспользоваться возможностями консолей нового поколения для увеличения размеров игрового мира и его изображения. Но не в коем случае не стоит забывать и о пользователях данных игр. Для чистоты исследования был взят тот же промежуток времени, но рассматривались игры, чей рейтинг составлял 6,5-10. Из всего этого списка было выявлено, что 61,1% представленной продукции использует привязку к реальным элементам архитектуры и их стилям [2].

Данные приемы позволяют игроку сильнее проникнуться представленной локацией за счет элемента «узнаваемости». Когда пользователь замечает и распознает знакомый элемент, появившийся в той или иной локации, на подсознательном уровне у него это вызывает положительные эмоции. Так как этот объект может из простого и на первый взгляд незначительного предмета, преобразиться в разгаданную им загадку, и раскрытие этой тайны станет для игрока своего рода наградой. Благодаря этому пользователь будет позитивно настроен, его гораздо меньше будет пугать неизвестность, он считает, что контролирует ситуацию, поэтому чаще рискует и действует более креативно. Такая подача локации помогает защитить игрока и от фрустрации. Что особенно интересно, иногда в игровых локациях специально вводят сцены, где игроку сложно ориентироваться в пространстве, и изначально это должно вызывать некое негодование. Но данный прием так же является элементом «узнаваемости», а следовательно, при разгадки этой тайны игрок получит «награду». Этот прием можно проследить в игре Persona 5, где сюжетная линия разворачивается в Японии. Игроку предстоит задача пережить опыт знакомый многим туристам, герой должен будет сориентироваться на железнодорожной станции. Фрустрация, вызванная выполнением этой задачи, показалась многим пользователям очень знакомой, а

некоторые даже отложили на время геймпад, чтобы поностальгировать о недавнем путешествии [3].

Естественно, использование таких приемов является наиболее выгодным решением для фиксации и манипулирования внимания игрока, который должен использовать любой геймдизайнер. В таком случае пользователь может более снисходительно отнестись к каким-то технически незначительным недочетам. Такие визуальные приемы используется постоянно, и почти в каждой выпускаемой игре есть отсылки на ее предыдущие части или другие проекты компании, а также на какие-либо исторические события, реальных людей, стилей архитектуры и т.д.

Рассмотрев каждую игру, использованную в качестве представленного анализа, а это 200 проектов [2], было выявлено каким образом дизайнеры уровней и художники по детальному окружению применяют такой вид привязки при моделировании (рисунок 2).



Рисунок 2. Схема использование видов привязки к архитектуре при моделировании игр

Из представленной схемы, полученной в результате исследования, объектом которого являлись способы моделирования локаций на основе архитектурных стилей в компьютерных играх, были найдены принципы и соотношения данного способа проектирования:

- Фотореалистичная подача локации с точным моделированием архитектурного стиля (14,04%);
- Фотореалистичная подача локации, с видоизмененным стилем, не потерявшим свою читабельность (15,7%);
- Изобразительное представление локации и архитектуры за счет игрового сюжета, при этом ее элементы остаются узнаваемы (24,79%);
- Фотореалистичное использование существующего образа города или местности(27,27%);
- Изображение существующего образа города или местности на момент исторического события (4,13%);
- Изображение существующего образа города или местности в альтернативной сюжетной линии (14,87%).

Примером работ при моделировании, которые используют образ города или территории, являются такие игры, как The Talos Principle — научно-фантастическая головоломка, в которой игрока окружают пейзажи разрушенных цивилизаций, где можно увидеть архитектуру античности, древнего Египта и замки Европейского средневековья. Так же многие студии используют открытую отсылку на реально существующий город в своих играх, к примеру Los Santos в GTA V, чей образ был взят с Лос-Анжелеса [4]. Особенno популярным среди таких игр безусловно является Assassin's Creed, которая отличается глобальной проработкой игрового мира с использованием реальных архитектурных стилей на момент выбранной истории, будь то эпоха древней Греции или промышленная революция в викторианском Лондоне. В одной из частей под названием Unity, пользователей впечатлило количество узнаваемых достопримечательностей в кадре. Так как действия игры разворачиваются в Париже XVIII в., игроки смогли увидеть и изучить такие памятники

архитектуры как Собор Парижской Богоматери, тюрьму Бастилия, Лувр, Версальский дворец, все это сильнейшим образом влияет на погружения игроков в данную локацию. Помимо детального кодирования местности в игре Watch Dogs, где игрок сможет не просто побывать в Чикаго, он будет с ней взаимодействовать влиять на инфраструктуру. Это происходит за счет специального игрового механизма, где пользователь, за счет персонажа, используя ИТ-технологии взламывают систему города и станет влиять на нее в угоду своим миссиям.

На основе предыдущих исследований были выявлены часто встречающиеся стили, которые используются в дизайн моделировании игровых локаций: романская архитектура (12,31%), готическая архитектура (11,33%), георгианская архитектура (10,34%), неороманский стиль (9,85%), Неоклассическая архитектура (8,86%), палладиева архитектура (7,88%) ар-деко (7,38%), архитектурный модернизм (6,4%), викторианская архитектура (6,4%), архитектура античности (4,92%), японская средневековая архитектура (4,43%), архитектура древнего Египта (3,94%), конструктивизм (2,95%), советская архитектура (1,97%), прочие стили (1,47%).

За аналог можно взять игру Bioshock. Визуальными образами которой стали, стекло и сталь позднего ар-деко, индустриализм и отчетливые геометрические силуэты [5]. Еще один интересный пример Dishonored. Ее уровни вдохновлены викторианской Англией. Архитектура, использованная в игре способна одновременно восхищать и вызывать чувство уныния за счет добавления трущоб и заброшенности некоторых районов. По мимо этого действия игрока способны влиять на дальнейшее развитие сюжета, что может сильнее погрузить город во мрак или наоборот, и за счет этого сама архитектура становится еще одним участником сюжета, помогая дальнейшему игровому повествованию. Это можно заметить и в игре GoneHome, когда развитию истории помогают не только диалоги персонажей. Здесь игрок будет ходить по пустому дому, пытаясь разобраться с поставленной задачей, а обстановка в доме будет направлять и помогать.

Из представленного анализа было выявлено несколько принципов к которым должен придерживаться дизайнер уровня при моделировании игровой локации с привязкой на реальные архитектурные стили или образ города:

- Дизайнеру уровню необходимо владеть академическими знаниями архитектуры, для фотorealистичного моделирования локации;
- Использовать фотограмметрию (процесс генерации пространства по фотографии), так как нельзя правдоподобно изобразить локацию просто рисуя и комбинируя текстуры;
- Простое копирование образа города не сделает вашу локацию интересней, необходимо учитывать особенности сюжета, геймплея и на их основе проектировать всевозможные препятствия, для игрока, делая этим игру более интересной;
- Дизайнером уровня рекомендуется тестировать свою локацию, для более детальной проработки и поисков ошибок;
- Применять визуальные ориентиры на основе реальных архитектурных объектов, благодаря чему направления игрока будет зависеть от их расположения;
- Добавлять в локацию узнаваемые элементы, для лучшего погружения игрока в предлагаемую историю;

В итоге архитектура в таких играх будет лучше раскрывать историю, благодаря чему игроки будут настолько заинтересованы, что начнут отвлекаться от основной миссий, чтобы просто рассмотреть все, что предлагает им этот игровой мир, тем самым увеличивая время на прохождения. Ведь большинство действий в игре они бы не смогли сделать в реальной жизни, такие как забраться на крышу, повисеть на знаменитых горгульях, или заглянуть в самые дальние уголки представленной локации. Это повод помечтать, изучить и рассмотреть мир с совершенно другой стороны.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шрейер Д. Кровь, пот и пиксели. Обратная сторона индустрии видеоигр / Д. Шрейер // пер. с англ. Голубева А. – М.: Бомбара, 2019. – 368с.
- 2 Самые популярные игры [Электронный ресурс]:<https://stopgame.ru/> Режим доступа:<https://stopgame.ru/topgames> (дата обращения: 05.05.2019) – Загл. с экрана.
3. Элементы узнаваемости в играх [Электронный ресурс]: <https://dtf.ru/gamedev/49046-effekt-uznavaemosti-v-igrah-sovety-leveldizaynera-dying-light-call-of-duty-i-dead-island> (дата обращения: 01.05.2019)
4. Кушнер Д. В угоне. Подлинная история GTA / Д. Кушнер // пер. с англ. Лисин Д. А. – СПб.: Амфора, 2017. – 351с.
5. Кавтарадзе С.Ю. Анатомия архитектуры. Семь книг о логике, форме и смысле / С.Ю. Кавтарадзе – М.: Изд. Дом Высшей школы экономики, 2016. – 472с.

УДК 004.514

И.И. Сторчак, З.И. Абдулаева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ ГРАФИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ПЛАНЕРОВ

Введение. Современный высокий тем жизни, рутинная работа, большой поток информации – одни из проблем, создающие постоянную нехватку времени среднестатистического человека. Отсутствие грамотного распределения ресурсов, в том числе рабочего и свободного времени, зачастую приводит к нарушениям в рабочем процессе, застоям на пути к достижению целей. Пренебрежение отдыхом может способствовать развитию стресса, депрессии и других проблем со здоровьем. Таким образом возникает необходимость в организации и планировании времени, дел [1].

Сейчас один из распространенных видов планеров – бумажные ежедневники, однако в их использовании можно выделить ряд проблем, таких как – отсутствие гибкости вносимых данных, ограниченный функционал, габарит, вес. В свою очередь мобильные инструменты планирования времени решают приведенные проблемы [2].

Актуальность обусловлена новизной темы, и не изученностью рынка мобильных инструментов планирования времени. Результатом анализа выступят сформулированные рекомендации для последующей разработки графического интерфейса, исключающего недостатки существующих решений.

Цель работы состоит в создание оптимального графического интерфейса мобильных инструментов планирования времени, на основе сопоставительного анализа уже существующих решений.

Задачами исследования являются: исследования набора существующих решений графических интерфейсов инструментов планирования времени; проведение сравнительного анализа решений; формирование рекомендаций для разработки улучшенного варианта.

Исследование.

Методом сравнительного анализа [3] было проведено исследование графических интерфейсов мобильных приложений для планирования времени. Выявляя основные различия и сходства, были сформированы критерии для дальнейшего анализа.

1. Метод планирования времени: диаграммный, табличный, список. В рассмотренных вариантах было выявлено три метода. Первый заключается в разделении временного отрезка, отведенного на выполнение задачи, на попереенные промежутки: выполнение работы и отдых, в определенных пропорциях (в виде секторных диаграмм). Второй метод использует

таблицы для отслеживания прогресса в достижении выбранных целей. Третий метод заключается в составлении списков и последующем расставлении приоритетов.

2. Пользовательская модификации интерфейса: отсутствует, частичная, продвинутая. Под отсутствует подразумевается отсутствие возможности для изменения любых элементов интерфейса. Под частичным – изменение цвета, под продвинутым – редактирование макетов, цветов, графики, добавление или удаление элементов.

3. Кроссплатформенность: поддерживается, только для мобильных устройств, только для персональных компьютеров.

4. Также рассматривались такие параметры как: основные цвета в интерфейсе, используемые шрифты.

По итогам выявленных критериев методом анкетирования [4] был проведён опрос независимой аудитории пользователей в количестве 150 человек с целью выявления предпочтений.

Результат.

По завершению анализа 50 наиболее популярных приложений и результатам опроса их пользователей были получены основные результаты (таблица 1), определяющие направление разработки нового приложения, исключающего недостатки всех существующих.

Таблица 1. Основные результаты исследования графических интерфейсов программ

№	Показатель	Соотношение	Опрос
1	Однокомпонентная система (использует один метод) Комбинированная система (включает два метода) Мультипланерная система (включает все методы) Из них в разных комбинациях присутствуют: Диаграммный метод планирования Табличный метод планирования Планирование списком	60% 40% 0% 20% 40% 90%	10% 30% 60%
2	Гибкая модификация интерфейса Закрытый интерфейс (из них возможность изменить только цвет 30 %)	30% 70%	90% 10%
3	Кроссплатформенность Мобильные платформы Компьютерные программы	60% 10% 30%	100% 0% 0%
4	Основной цвет интерфейса (без возможности изменения) Выбор цвета из двух возможных Гибкая настройка цвета интерфейса	60% 30% 10%	5% 5% 90%
5	Использование шрифтов с засечками Использование рубленых шрифтов Использование рукописных шрифтов Использование акцидентных шрифтов	10% 20% 20% 50%	15% 60% 5% 20%

Средства работы с информацией в графическом интерфейсе: формирование списка, создание проекта, сортировка информации, создание напоминаний, формирование расписания, графические, таблицы, создание инфографики присутствуют во всех программах в различных вариациях.

Вывод.

Проведённый сопоставительный анализ позволяет выработать рекомендации для построения оптимальной структуры графического интерфейса программного решения кроссплатформенных планировщиков времени.

Разрабатываемый графический интерфейс должен иметь возможность персонализировать различные параметры путем изменения цвета, шрифта, редактирования макетов, работой с графикой и другими элементами интерфейса.

Исходя из рассмотренных графических интерфейсов был сделан вывод о том, что используемые методы планирования и средства работы с информацией влияют на внешний вид, функциональность, гибкость, удобство графического интерфейса.

Результат анализа и приведенные рекомендации послужат базой для создания прототипа графического интерфейса мобильного приложения планера и проведения последующих исследований.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Щербатых Ю.В. Психология стресса и методы коррекции – СПб.: Питер, 2006 – 256 с.
2. Borowska P., Laurinavicius T., Mobile Design Book – NY, 2015 – 76 р.
3. Лидвелл У., Холден К., Батлер Д. Универсальные принципы дизайна – СПб: Колибри, 2019 – 272 с.
4. Котлер Ф. Основы маркетинга – М.: Вильямс, 2018 – 496 с.

УДК 7.067.4

В.М. Иванов, М.Е. Черкасов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩИХ ФИЛЬМОВ ПО ОТКРЫТОЙ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ХИРУРГИИ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

В настоящее время в области челюстно-лицевой хирургии непрерывно делаются прорывы, и совершаются операции, ранее не проводившиеся. В российском медицинском образовании по направлению челюстно-лицевой хирургии наблюдается следующая проблемная ситуация. С одной стороны, есть необходимость в оперативном освоении студентами новых подходов и технологий, а главное в приобретении практических навыков по их применению. С другой стороны, присутствует задержка в адаптации новых результатов к учебному процессу и ощущается дефицит учебных материалов на русском языке; кроме того у студентов наблюдается нехватка практических навыков в хирургии, что является основным препятствием в получении высокой квалификации челюстно-лицевого хирурга [1].

Обучаясь в вузе, студенты затрачивают материальные и трудовые ресурсы, а также ресурсы здоровья, рассчитывая на то, что полученное ими образование даст им достаточную квалификацию для полноценной трудовой деятельности и экономического благосостояния. Социальная значимость темы обусловливается тем, что она предполагает удовлетворение как запросов студентов высших медицинских учебных заведений, так и потребности общества в качественной хирургической помощи. Факт необходимости улучшения теоретической и практической подготовки студентов высших медицинских учебных заведений обуславливает своевременность этой темы. Социальная значимость и своевременность определяют её актуальность.

Цель нашей работы состоит в повышении качества предварительной подготовки студентов к хирургической деятельности.

Для достижения этой цели необходимо решить следующую задачу: обеспечить высшие медицинские учебные заведения обучающими фильмами по открытой челюстно-лицевой хирургии с максимальным эффектом погружения в процесс операции.

Новизна нашего подхода заключается в более глубоком погружении обучающегося в операционную обстановку.

Выбор средств, которыми мы пользуемся в достижении нашей задачи, обусловлен максимальной эффективностью обучения. Раскрытие самой сути операции производится посредством 3D графики. Этот метод позволяет добиться максимального визуального сходства с операцией, при этом даёт дополнительные возможности. Например, смотреть «сквозь» мягкие ткани и видеть скелет. Или совершать операции быстрее или медленнее чем в реальной жизни, что позволяет уместить всю восьмичасовую операцию, не упуская ни одного шага, вместе с описанием подготовки к операции и реабилитации после неё, а также с общей справкой о болезни, в хронометраж около 7-ми минут. Такой подход позволяет также показывать ракурсы, почти невозможные в реальной жизни. Подвижная камера даёт возможность смотреть хоть «изнутри» пациента. Для достижения фотореалистичности используются технологии рендеринга методом PathTracing и PBR материалы [2].

Уникальность именно нашего подхода состоит в более полном погружении в процессы, которые ожидают студентов в их будущей трудовой деятельности. В отличие от аналогичных продуктов, которые просто демонстрируют деформацию мягких и твёрдых тканей в изолированном виртуальном пространстве, в данном проекте большое внимание отводится точному моделированию медицинских инструментов, с помощью которых производится каждая операция. Моделируется окружение операционной. Моделируется освещение операционной зоны специальным оборудованием. Моделируется всё существенное окружение этой зоны, в том числе ткань, покрывающая не оперируемые части тела и трубка для интубационного наркоза.

Для более точной передачи, сцены 3D перемежаются с реальными съёмками из операционной. Текст диктора дублируется субтитрами, дизайн которых специально разработан под эффективное восприятие текста и которые адаптируют свою яркость в зависимости от свойств изображения на которое они накладываются; это сделано в первую очередь для людей, которые, ввиду своих индивидуальных особенностей, лучше воспринимают визуально представленный текст, чем звучащий [3]; а также для возможности проведения занятия с использованием видеофильма, когда невозможно воспроизвести звук по техническим причинам.

Помимо видеовставок и субтитров, привлекаются материалы из историй болезни реальных пациентов (рентгенограммы, модели и т.д.), а также 2D анимация.

Не все процессы имеет смысл показывать исключительно в 3D. 3D требует конкретности. Общие случаи и абстрактные понятия лучше передаются через 2D графику. Это добавляет новые, задачи по разработке визуального ряда. На рисунке 1 представлена схема черепа. На её примере можно рассмотреть часть этих задач.

В разработке графического элемента в первую очередь отталкиваются от предназначения той или иной иллюстрации. Главная задача данной схемы — показать характер прикуса пациента (в пилотном выпуске серии демонстрируется операция по исправлению мезиального прикуса на физиологический при сочетанной зубо-челюстно-лицевой аномалии). Для этого отброшены все посторонние детали, ярко выделен контур и передние резцы, так как именно положение передних резцов друг относительно друга нагляднее всего передают характер мезиального прикуса по сравнению с нормальным.

Необходимость перехода из нормального состояния в патологическое и наоборот посредством анимации размеров и формы нижней челюсти обуславливает разработку всей схемы таким образом, чтобы нижняя челюсть была самостоятельным, обособленным от всей остальной схемы, замкнутым объектом.

При этом указанные ключевые детали не имели бы смысла в графическом «вакууме». Для формирования представления о себе им важна визуальная привязка к человеческому черепу. Эта привязка должна быть максимально интуитивной, формироваться как бы «фоном», не отвлекая от сути повествования. Поэтому самыми минимальными и

ненавязчивыми средствами, но в то же время с очень сильным ассоциативным воздействием требуется обозначить в пространстве весь остальной череп. Помимо активного контура самого черепа, была добавлена заливка, стилизованная под рентген. Такое решение привлекательно не только своей ассоциативностью с хирургией в целом, но и отсутствием каких-либо лишних графических элементов, которые иначе потребовались для передачи формы черепа в пространстве.

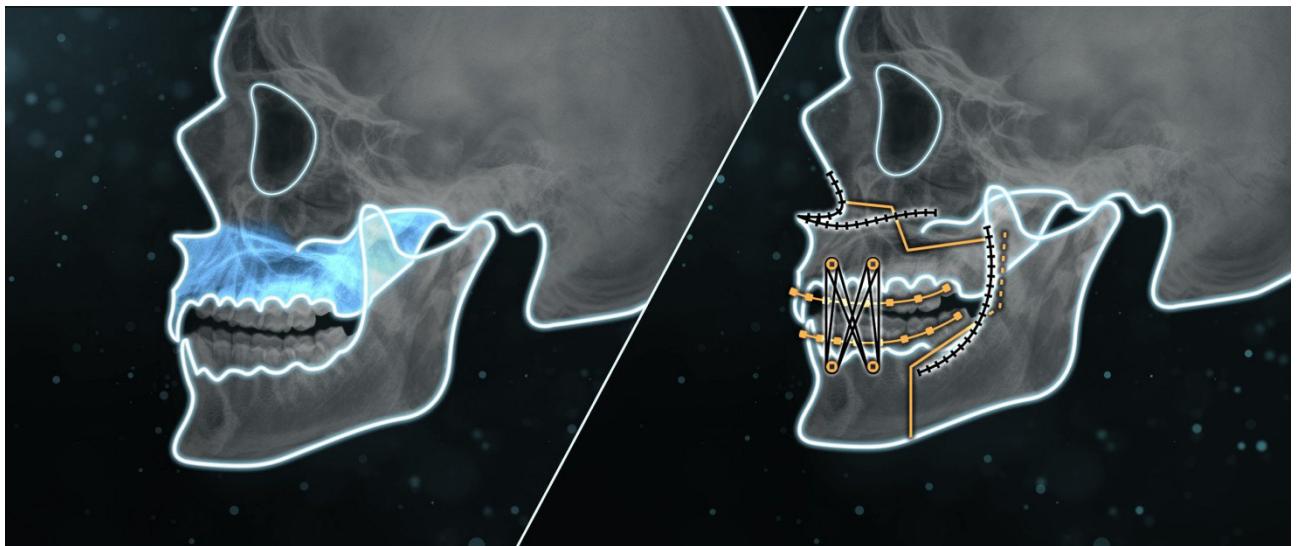


Рисунок 1. Схема черепа, наглядно показывающая характер прикуса у пациента.
Дизайнерская разработка. Автор: Елена Михайлова.

На рассматриваемой схеме демонстрируется не только сама суть патологии, но также методы лечения и ход реабилитации после операции с течением времени. Для этого нужно разместить на этой схеме дополнительные элементы, а именно: брекет-систему, опорные минишурупы, резиновые тяги, линии разлома костей, швы. Некоторые из этих элементов совпадают с контуром самого черепа, и нужно было найти способ передать линии, лежащие одна над другой, которые при этом были бы отчётливо различимы и не смешивались в процессе восприятия. В данном случае решением стало использование тёмных цветов помещаемых «сверху» линий, и светлого свечения вокруг них, обособляющего их от окружающего тёмного фона и контрастно их выделяющего, и в то же время совпадающего с характером линии, лежащей под налагаемым элементом.

Такое разнообразие формы и содержания требует грамотной структуризации, чтобы оно не смешивалось в хаос при восприятии. Для тематического разделения элементов повествования используются звуковые переходы, а также размещение этих элементов на разной «глубине» в экране, и анимация перехода между слоями разной «глубины».

Вывод. Обучение студентов с использованием подобных обучающих фильмов представляется перспективным и способствует повышению качества подготовки студентов к хирургической деятельности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Интервью с доктором медицинских наук Вячеславом Егоровым издательства «Лента» от 20 февраля 2017 года.
2. Matt Pharr, Wenzel Jakob, Greg Humphreys: «Physically Based Rendering: From Theory To Implementation».
3. Cynthia J. Brame: «Effective Educational Videos: Principles and Guidelines for Maximizing Student Learning from Video Content».

ЗАДАЧА РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ КАК РЕАЛИЗАЦИЯ ЧАСТНОГО СЛУЧАЯ СХЕМЫ ГАУКА

Введение. Для формирования профессиональных компетенций дизайнера необходимо знать не только способы построения геометрических объектов, характерные для «художественных» дисциплин, но и методы геометрического моделирования, используемые в теории изображений, в частности методы построения перспективного изображения и, в частности, решение задачи реконструкции перспективных изображений [1, 2].

Цель работы. Создание геометрического алгоритма, позволяющего осуществить преобразование двух перспективных изображений объекта в систему ортогональных проекций.

Дизайнеры в своей практической работе довольно часто рассматривают перспективное изображение как одиночную центральную проекцию, что не дает однозначного представления об изображаемом предмете. Перспектива как частный случай метода двух изображений позволяет не только построить перспективное изображение на основе ортогональных проекций, но и определить форму и размеры объекта, решив задачу реконструкции перспективы.

Реконструкция перспективного изображения как построение дополнительной ортогональной проекции по двум заданным центральным довольно часто встречается в измерительной съемке и архитектуре. Такую реконструкцию можно провести с помощью пары фотоснимков исследуемого объекта. При этом для определения метрических характеристик ортогональных проекций используют специальный предмет или репер, форма и размеры которого определяют до съемки. Репер проектируется на изображения в плоскостях проекций π_1, π_2 (например, на фотографиях) совместно с объектом.

Рассмотрим алгоритм решения этой задачи на примере идеального объекта. Решение основано на использовании схемы Гаука [3]. Мы имеем заданные центральные проекции в полях π_1 и π_2 . Избыточной является проекция на плоскость π_3 , параллельную передней грани, или проекция на плоскость π_4 , перпендикулярную ей. Для начала рассмотрим случай, когда нам необходимо найти избыточную проекцию на плоскость π_3 (рисунок 1). В нашем случае элементами полного репера мы выбрали три взаимно перпендикулярных ребра архитектурного фрагмента CD, CB и CN .

Соответствие между плоскостями проекций $\pi_1 - \pi_3$ или $\pi_2 - \pi_3$ определим при помощи коллинеарных соответствий плоских полей, которые определяются четырьмя парами соответствующих точек A_1, B_1, C_1, D_1 и A_3, B_3, C_3, D_3 или A_2, B_2, C_2, D_2 и A_3, B_3, C_3, D_3 .

Таким образом, коллинеарное соответствие между полями $\pi_1 - \pi_3$ определяется коллинеацией $ksi13$, а между полями $\pi_2 - \pi_3$ коллинеацией $ksi23$.

Затем, необходимо найти элементы схемы Гаука, то есть на полях π_1, π_2 и π_3 определить пары проективных пучков и каким-либо образом установить соответствие между их лучами. Напомним, что вершинами пучков являются точки (исключенные) пересечения линий центров с плоскостями проекций.

Итак, найдем вершины $V_1 \subset \pi_1, W_2 \subset \pi_2$ и $V_3, W_3 \subset \pi_3$. Вершины V_1 и W_2 являются точками схода лучей, располагающихся в плоскостях перпендикулярных плоскостям $(D_1C_1B_1)$ и $(D_2C_2B_2)$ соответственно.

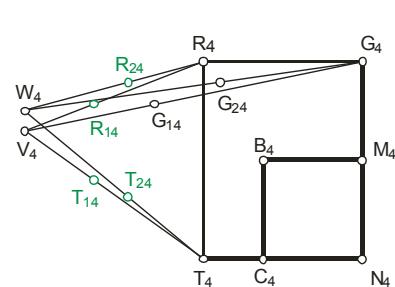
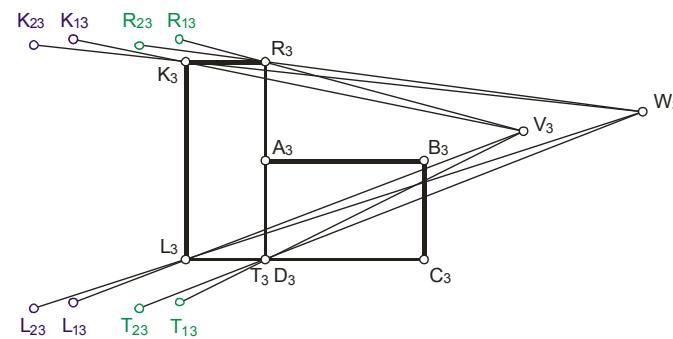
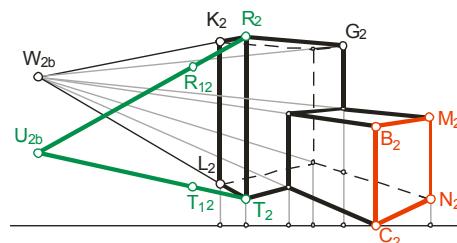
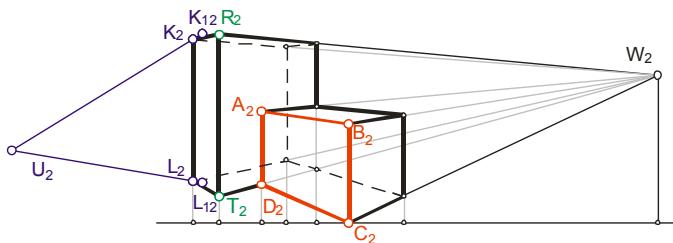
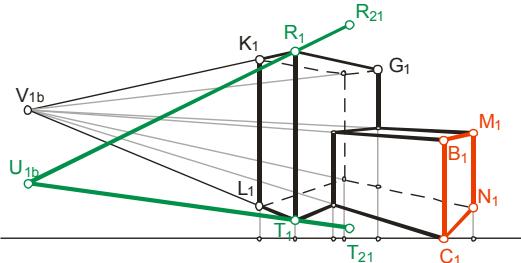
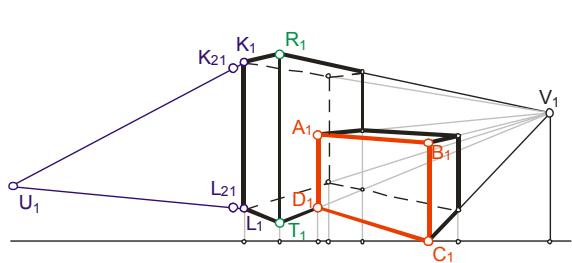


Рисунок 1. Реконструкция перспективы.
Фронтальная проекция.

Рисунок 2. Реконструкция перспективы.
Профильная проекция.

Вершину пучка V_3 определим как точку, соответствующую точке V_1 в коллинеации $ksi13$. Вершину W_3 определим как точку, соответствующую точке W_2 в коллинеации $ksi23$.

Теперь, когда найдены элементы схемы Гаука, нетрудно определить ортогональную проекцию любой точки, принадлежащей передней грани идеального объекта.

Рассмотрим алгоритм нахождения ортогональной проекции на примере точки K . Для этого необходимо:

1) При помощи коллинеации $ksi13$ найти точку, соответствующую точке K_1 в поле π_3 – точку K_{13} .

2) Аналогично, при помощи коллинеации $ksi23$ найти точку, соответствующую точке K_2 – точку K_{23} .

3) На пересечении лучей V_3K_{13} и W_3K_{23} и будет находиться искомая точка K_3 .

Аналогичные построения используем для определения точек R_3, T_3, L_3 .

В итоге, получаем фронтальную проекцию "идеального объекта".

Построение ортогональной проекции рассматриваемого объекта на вертикальную плоскость π_4 проведем аналогично построению, намеченному выше (рисунок 2).

Коллинеарные соответствия между плоскостями $\pi_1 - \pi_4$ или $\pi_2 - \pi_4$ определяются точками B_1, C_1, N_1, M_1 и B_4, C_4, N_4, M_4 или B_2, C_2, N_2, M_2 и B_4, C_4, N_4, M_4 , коллинеациями $ksi14$ и $ksi24$ соответственно. Вершина V_{1b} является точкой схода лучей R_1K_1 и T_1L_1 , аналогично вершина W_{2b} является точкой схода лучей R_2K_2 и T_2L_2 . Вершины пучков V_4 и W_4 определим как точки, соответствующие точкам V_{1b} и W_{2b} в коллинеациях $ksi14$ и $ksi24$. Пользуясь алгоритмом нахождения точки K_3 представленным выше, находим точки, принадлежащие

боковой грани "идеального объекта". В итоге, мы получили профильную проекцию объекта. При необходимости, зная две проекции, мы можем получить и горизонтальную проекцию.

Результаты. Использование схемы Гаука позволило создать оригинальный алгоритм решения задачи реконструкции перспективы, основанный на использовании коллинеарного соответствия плоских полей.

Выводы. В настоящей работе создана геометрическая модель, реализующая схему Гаука как метод построения дополнительной проекции по двум заданным. Геометрическая модель использована для решения задачи реконструкции перспективы. Созданная модель реализована с помощью системы геометрического моделирования «Симплекс» [4]. Анализ использования созданного алгоритма показал его адекватное реагирование на изменение входных условий геометрической модели.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бударин О.С. Начертательная геометрия. Краткий курс: Учебное пособие. 2-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 368 с. ил.
2. Кокорин М.С. Инженерная геометрия [Электронный ресурс]: методическое пособие / М. С. Кокорин, Т. А. Никитина; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург, 2019
3. Афанасьева И.Б., Кокорин М.С. Перспективные проекции как иллюстрация схемы Гаука, используемая в курсе геометрического моделирования // Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 5-й Международной научно-практической конференции. / Под. ред. А.Н. Евграфова и А.А. Поповича. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 1445 с. – С. 33-42.
4. Волошинов Д.В. Конструктивное геометрическое моделирование. Теория, практика, автоматизация. Saarbrucken: Lambert Academic Publishing, 2010. – 355 с.

УДК 72.07

Чжэн Фэнпин, А.Г. Зубов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РОЛЬ КОММУНИКАТИВНОГО ДИЗАЙНА В ПРЕДМЕТНОМ ДИЗАЙНЕ УПАКОВКИ

В современном мире упаковка является не только важным видом дизайна, но и частью массовой культуры, которая влияет на эстетизацию жизненного пространства человека, способствует организации общественной жизни, способствует росту продаж товаров по каталогам и через интернет.

Упаковка - несомненный символ сегодняшнего рынка, неотъемлемая часть любого бренда. С точки зрения силы воздействия на покупателя она вне конкуренции среди прочих средств продвижения товара [1].

Чтобы удовлетворить потребности потребителей, дизайн упаковки начинает постепенно включать в себя концепции коммуникативного дизайна, что является инновацией и попыткой разработки более востребованного современного дизайна [2].

Получение нового значения методов коммуникативного дизайна в предметном дизайне упаковки, напрямую влияет на конкурентоспособность товара .

Основная цель - продемонстрировать важность взаимодействия коммуникативного дизайна и предметного дизайна упаковки товара. Основная цели коммуникативного дизайна в упаковке заключается в создании нового способа общения людей и товара [3].

Посредством взаимодействия между упаковкой и потребителем, потребитель получает информацию, заложенную в дизайн упаковки, отвечающую его потребностям.

Взаимодействие ЧЕЛОВЕК – ТОВАР приобретает новый смысл, который выражается в эмоциональном воздействии.

Можно проверить реакцию целевого потребителя на форму, характеристики цвета, надписи, и т.д., которые могут стимулировать его желание приобрести продукт, и совершить покупку. Специальные показатели исследования для тестирования дизайна упаковки могут ответить на вопросы :

- обладает ли упаковка особыми графическими характеристиками, легко ли ее различить и может ли она привлечь внимание людей,
- передает ли она полную информацию о товаре, легко ли она усваивается потребителем, полностью ли понятны характеристики продукта.
- привлекает ли эмоционально упаковка потребителя, вызывая желание приобрести продукт;
- усиливает ли упаковка имидж бренда в сознании потребителей.

Посредством исследований мы можем обнаружить, что коммуникативная составляющая дизайна в упаковке с большой точки зрения подразделяется на три категории, одна из которых - это взаимодействие, в том числе, взаимодействие с продуктом между людьми, взаимодействие между товарами, вторая – взаимодействие между людьми и продуктами, включая взаимодействие человека с компьютером, и взаимодействие между людьми и окружающей средой.

Третья категория - общесистемное взаимодействие, включающее межорганизационные взаимодействия, межсистемные взаимодействия, взаимодействия в интеллектуальной среде и взаимодействия между их соответствующими внутренними компонентными единицами.

Дизайн взаимодействия фокусируется на дизайне коммуникационного процесса, а не только на дизайне существующей среды [4].

Выводы, полученные в результате исследований: коммуникативный дизайн имеет три точки соприкосновения в дизайне упаковки это удобства использования и передача информации о товаре, усиление конкурентоспособности при продвижении товара.

В настоящее время коммуникативный дизайн в основном сосредоточен на объектах графического плана и электронной среды, но так было не всегда. Его корни находятся в графическом дизайне, в частности в дизайне упаковки.

Продукты дизайна меняют не только обмен информацией с обществом, но и используются во всех аспектах повседневной жизни, улучшая качество жизни, работы, учебы и развлечений, а также нацеливают людей на получение нового опыта.

Особенно в контексте новых и более продвинутых технологий, так как интерактивные технологии, технологии отображения, мультимедиа, стоит задуматься над тем, как придать новое выражение традиционной форме с помощью коммуникативного дизайна и привнести оригинальный опыт в новой форме.

Современный опыт также изменил способ проектирования. Деятельность по проектированию с единоличного единоборства все более переходит в плоскость командного проектирования, на популярную модель краудсорсинга.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Босых И.Б. Генезис коммуникационных свойств упаковки: семиологический анализ. [Электронный ресурс] / И.Б. Босых // Архитектон: известия вузов — 2009. — № 26.
2. Алешина И.В. Поведение потребителей: Учеб. пособие. - М.: ФА-ИР-ПРЕСС, 1999. - 384 с.
3. Коськов М.А. Предметный мир культуры. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. 344 с
4. Николаева Ж.В. Основы теории коммуникации: учебно-методическое пособие для студентов. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004. 274 с.

СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

УДК 621.7.092

М.М. Радкевич, И.С. Кузьмичев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННИХ ПРОТЯЖЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ПЭПП

Введение. Технологические трудности изготовления, связанные с обработкой внутренних поверхностей протяженных сквозных отверстий, присущи большому числу ответственных изделий: трубы топливных систем, цилиндры поршневых приводов, детали волноводной техники, гладкие ружейные стволы и другие детали типа трубы. Поэтому большой интерес представляется в поиске технологически передового способа обработки таких изделий.

Актуальность. В современном машиностроении наиболее эффективным способом финишной обработки внутренних поверхностей является электрохимическая обработка. Она менее трудоемка, более производительна, позволяет обрабатывать изделия различной формы. В современных условиях, когда идет непрерывное ужесточение требований, предъявляемых к качеству обработки, к повышению производительности и экологичности, использование малотоксичных технологий, обеспечивающих прецизионную обработку - актуально.

Цель работы – получить значительное повышение параметра равномерности качества полирования по длине обрабатываемой заготовки посредством электролитно-плазменного полирования (ЭПП).

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить за счет чего можно улучшить параметр равномерности обработки при принудительном ЭПП (ПЭПП).

2. Спроектировать и изготовить комплекты специальных приспособлений ПЭПП для обеспечения физических аспектов процесса по результатам выполнения задачи номер один.

3. Проверка сформулированных теорий на практике.

Особенности ЭПП. Технология электролитно-плазменного полирования проводится в водных растворах с малым процентным содержание органических солей. Сводится к созданию необходимых для образования параплазменной оболочки (ППО) условий, на поверхности токопроводящего обрабатываемого материала. В ППО с высокой частотой, на единице площади поверхности, пульсируют микроразряды, энергии которых достаточно, чтобы расплавить вершины микронеровностей поверхности, снижая параметр R_a , мкм [1].

При снижении R_a , обработанной ЭПП поверхности, усиливается комплекс технологических и качественных показателей. Но на ряду с преимуществами ЭПП имеется существенное ограничение, а именно невозможность обработки внутренних поверхностей. При использовании классической схемы реализации технологии, подразумевающей погружение заготовки-анода в объем электролита ванны-катода. На наружных поверхностях обрабатываемой заготовки, на единице площади реализуется достаточная плотность тока, чтобы перевести электролит в ионизированное состояние. На внутренних поверхностях заготовки плотность тока стремиться к нулю и ППО не образуется [2].

Способ ПЭПП. Данное ответвление от ЭПП разработано с целью упростить финишные технологические операции, с помощью которых внутренним поверхностям протяженных

отверстий придаются дополнительные свойства и чистота поверхности. Первой, в ходе разработки способа ПЭПП, была предложена система с монопотоком рабочей жидкости (РЖ). Такая схема реализации ЭПП является принципиально новой. Состоит из заготовки-катода, электрода-катода (ЭК), двух диэлектрических корпусных элементов специального приспособления (СП), имеющих посадочные отверстия для позиционирования ЭК, заготовки и штуцера гидравлической системы подводящего РЖ. Недостатком данной схемы является снижение качества обработки по направлению к выходу РЖ из обрабатываемого отверстия, ввиду нарушения однородности ППО из-за перегрева электролита при преобразовании электрической энергии в тепловую (рисунок 1).

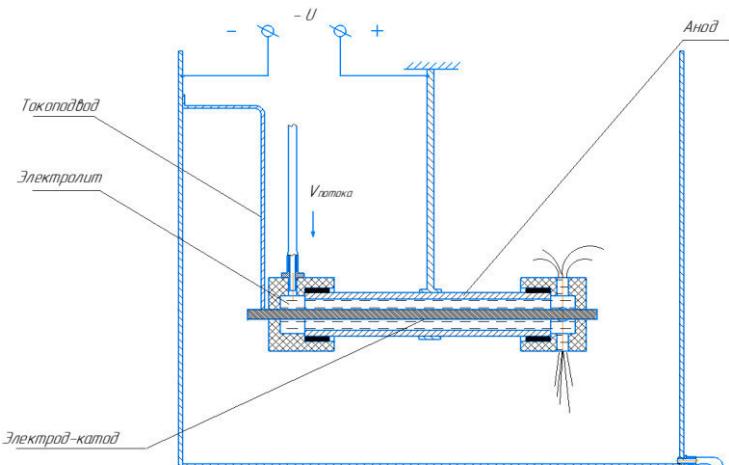


Рисунок 1. Схема ПЭПП внутренней поверхности протяженного отверстия

Теория о перегреве электролита подтверждается тем, что значения параметра шероховатости R_a увеличиваются по направлению к выходу из отверстия обработанной ПЭПП детали. Данная закономерность указывает на неоднородность образования ППО по длине внутренних поверхностей. Причиной перегрева электролита, находящегося в межэлектродном зазоре (МЭЗ), являются высокие значения напряжения (U , [В]) и силы тока (I , [А]). Значения U находятся в диапазоне от 250-350 В. I при ЭПП напрямую зависит от значений плотности тока (j , [A/cm^2]) и площади обрабатываемых поверхностей отверстия ($S_{отв}$, [cm^2]). Для примера назначим среднее значение плотности тока ЭПП равное $0,7 A/cm^2$. Зная площадь обрабатываемых поверхностей, рассчитываем силу тока при напряжении, 300 В, находим затрачиваемую мощность (N , Вт) для конкретной заготовки.

$$I = S_{отв} \cdot j \quad (1)$$

$$I = 37,7 \cdot 0,7 = 26,4 \text{ А}$$

$$N = U \cdot I \quad (2)$$

$$N = 300 \cdot 26,4 = 7900 \text{ Вт} = 7,9 \text{ кВт}$$

Электрической энергии в 1 Вт $\approx 1 \text{ Дж/с}$ тепловой энергии $\rightarrow 7900 \text{ Вт} \approx 7900 \text{ Дж/с}$.

Рассчитав количество тепловой энергии, преобразованной из электрической за время (t , [с]) равное одной секунде, переходим к следующему этапу решения уравнения теплового баланса. Рассчитываем объем обрабатываемого отверстия, который заполняется электролитом при ПЭПП заготовки. В данном случае объем канала равен 30 мл.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta \quad (3)$$

где Q – количество тепла, Дж; m – масса, кг; C – удельная теплоемкость, Дж · кг · °C;

Объем канала образца 30 см³ $\rightarrow 0,03 \text{ л}$. При плотности рабочей жидкости $\rho = 1050 \text{ кг/m}^3$, $\Delta = 20^\circ\text{C}$, теплоемкости $C = 4100 \text{ Дж} \cdot \text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}$:

$$Q = 0,031 [\text{кг}] \cdot 4100 [\text{Дж} \cdot \text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}] \cdot 20 [{}^\circ\text{C}] = 2540 \text{ Дж}$$

Такое количество тепловой энергии разогреет 30 мл электролита за $t = 1$ с до температуры кипения. Но при ПЭПП конкретной заготовки выделяется в 3 раза больше тепловой энергии, которая способна вскипятить 90 мл РЖ за $t = 1$ с. Таким образом, чтобы поддерживать электролит в жидком агрегатном состоянии, необходимо прокачивать более 90 мл через канал за $t = 1$ с. Соответственно скорость потока $v \approx 0,1$ л/с.

В ходе практических исследований получены показатели шероховатости Ra , после обработки партии из пятидесяти трубчатых заготовок способом ПЭПП в пределах 0,3-0,09 мкм, при исходном значении шероховатости $Ra = 0,63$ мкм.

Дальнейшие эксперименты показали, что тепловой энергии аккумулирующейся на ЭК, при ПЭПП, хватает, чтобы за $t < 90$ с достичь температуры плавления ЭК. Вследствие перегрева теряется механическая прочность, геометрия ЭК искажается под силой давления потока РЖ, создается критический уровень напряженности электрического поля на участке с минимальным МЭЗ, что приводит к пробою МЭЗ, и локальному расплавлению детали [3].

Для того, чтобы решить проблему перегрева материала ЭК предложено смоделировать процесс его нагрева, вследствие бомбардировки поверхности ЭК катионами электролита в МЭЗ. Разработана альтернативная схема реализации ПЭПП, конструктивно компенсирующая влияние избыточного тепловыделения в зоне обработки, повышающая стабильность процесса и равномерность качества полирования.

Новый способ ПЭПП реализуется встречными потоками РЖ (рисунок 3).

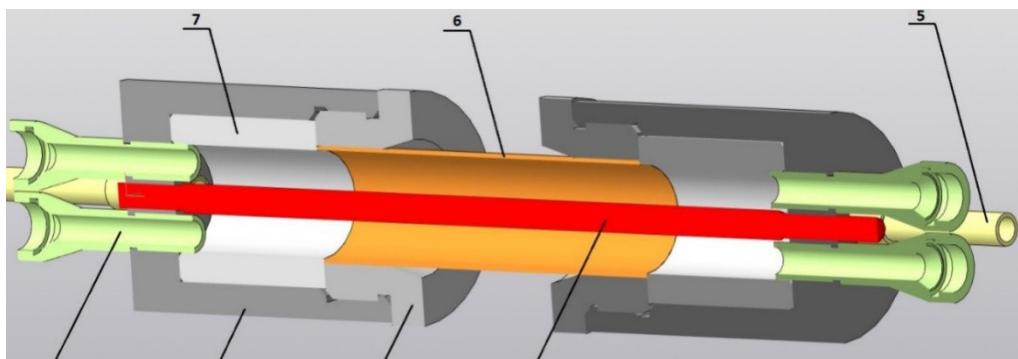


Рисунок 3. СП для обработки внутренних поверхностей ПЭПП встречными потоками
1 – Входные штуцера, 2 – левый корпусной элемент, 3 – левый фиксирующий фланец,
4 – ЭК, 5 – выходные штуцера, 6 – заготовка-анод, 7 – переходная втулка

Конфигурация выходных и входных штуцеров (1, 5), обеспечивает равномерность распределения РЖ по объему зоны обработки. Корпусные элементы (2) и фиксирующее фланцы (3) обеспечивают фиксацию ЭК (4) и заготовки-анода (6). Переходные втулки (7) являются конструктивными элементами, позволяющими закреплять заготовки разных диаметров и регулировать кучность потока РЖ. Способ ПЭПП встречными потоками позволяет обрабатывать внутренние поверхности большей длины с высоким показателем равномерности обработки. Процент брака находится в пределах 7-10 % на партию.

По результатам расчёта определено, что при обработке трубы внутренним отверстием 16 мм и протяженностью 150 мм, при суммарной скорости потоков РЖ = 0,2 л/с, токе $I = 150$ А, и напряжении $U = 300$ В, всего за $t = 18$ с ЭК из стали 12Х18Н9Т нагреется до температуры 1400 °С, что равняется температуре плавления нержавеющей стали. Всего за $t = 90$ с температура достигает 3050 °С. Такую температуру может выдержать вольфрамовый неплавящийся сварочный электрод.

Расчет позволил исключить вероятность пробоя МЭЗ, при использовании вольфрамового электрода и реализации ПЭПП встречными потоками в течении минуты.

В ходе практических исследований полученные показатели шероховатости R_a , после обработки партии из пятидесяти трубчатых заготовок способом ПЭПП встречными потоками, находятся в пределах 0,14-0,09 мкм, при исходном значении 0,63 мкм.

Вывод: Таким образом схема ПЭПП встречными потоками позволила получить значительное повышение параметра равномерности качества полирования по длине внутренних поверхностей и завершила цикл разработки альтернативного способа реализации ЭПП и поиска закономерностей, позволяющих гарантировать стабильность процесса ПЭПП внутренних поверхностей заготовок длиной до 150 мм с диаметром отверстия не более 28 мм, при использовании вольфрамового ЭК и времени обработки $t \leq 90$ с.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ушомирская Л.А., Новиков В.И. Полирование легированных сталей в не токсичных электролитах при высоком напряжении. Научно-производственный журнал «Металлообработка». АО «Издательство "Политехника"». 1(43)/2008 С. – 48 стр. УДК 621.719.048.4. ISSN 1684-6702.
2. Грилихес С.Я. Обезжикивание, травление и полирование металлов /под ред. П.М. Вячеславова.: Машиностроение, 1983. 101 с.
3. Гайсин Ал.Ф., Сон Э.Е. Паровоздушные разряды между струйным электролитическим катодом и металлическим анодом при пониженных давлениях // теплофизика высоких температур. 2010. т. 48. вып.3. с. 470–472.

УДК 67.03

Н.В. Кудрявцев, А.Б. Бектурсунов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ И СТЕКЛОТКАНИ ВЛИЯНИЕ ДИАПАЗОНА ТЕМПЕРАТУР НА СТРУКТУРУ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА

Введение. Соревнования Формулы-1 популяризовались в середине XX-го века и нашли новый вектор роста в студенческой среде. В 1978-ом году впервые провели соревнования "SAEMiniIndy", в дальнейшем переименовалось в ФОРМУЛА СТУДЕНТ (ФС).

Команда студентов из СПбПУ непосредственно принимают участие в ФС. Для постройки болида молодым специалистам дается 1 год. Прототип машин ФС и Ф-1 в большей степени схожи, поэтому студенты используют в качестве аэродинамических элементов и элементов кокпита углеродное волокно, пропитанное специальной смолой. На болид постоянно воздействуют силы, связанные с вибрацией, набеганием воздушного потока и т.п., поэтому проведение механических испытаний является необходимостью, дабы узнать нужное соотношение: качество-цена-вес.

Целью работы является механические испытания на сжатие, растяжение, скручивание, ударную вязкость, твердость.

Актуальность. В России участвуют 12 команд ФС из разных городов. Механические испытания дают наглядную информацию по количеству необходимых слоев в углеволокне, что помогает расчетчикам уменьшить себестоимость болида. Себестоимость болида является неотъемлемой частью внимания судей, в будущем по этому критерию даются баллы, что позволит приблизится к призовым местам.

Для изготовления карбоновых деталей применяется как просто углеродное волокно с хаотично расположенным и заполняющим весь объем материала нитями, так и ткань (CarbonFabric). Существуют десятки видов плетений. Наиболее распространены Plain, Twill,

Satin. Иногда плетение условно — лента из продольно расположенных волокон «прихвачена» редкими поперечными стежками только для того, чтобы не рассыпаться. Плотность ткани, или удельная масса, выраженная в $\text{г}/\text{м}^2$, помимо типа плетения зависит от толщины волокна, которая определяется количеством угленитей. Данная характеристика кратна тысячи. Так, аббревиатура 1К означает тысячу нитей в волокне. Чаще всего в автоспорте и тюнинге применяются ткани плетения Plain и Twill плотностью 150–600 $\text{г}/\text{м}^2$, с толщиной волокон 1К, 2.5К, 3К, 6К, 12К и 24К. Ткань 12К широко используется и в изделиях военного назначения (корпуса и головки баллистических ракет, лопасти винтов вертолетов и подводных лодок, и пр.), то есть там, где детали испытывают колоссальные нагрузки [1-6].

Основные образцы подготовлены с технологическими отверстиями как показано на рисунке 1 и рисунке 2.



Рисунок 1. Однослоистый образец
для испытания с
технологическими отверстиями



Рисунок 2. Двухслойный образец с уплотнением посередине
Руль болида

Все необходимые испытания и результаты приведены в таблицах и расчетах прочности при кафедре. «Горячих» компаундов великое множество, при этом у каждой собственные температурные и временные режимы отверждения. Обычно, чем выше требуемые показания термометра в процессе формовки, тем прочнее и устойчивее к нагреву готовое изделие. Исходя из возможностей имеющегося оборудования и требуемых характеристик конечного продукта, можно не только выбирать подходящие смолы, но делать их на заказ. Некоторые отечественные заводы-изготовители предлагают такую услугу. Естественно, не бесплатно. Препреги как нельзя лучше подходят для производства карбона в автоклавах. Перед загрузкой в рабочую камеру нужное количество материала тщательно укладывается в матрице и накрывается вакуумным мешком на специальных распорках. Правильное расположение всех компонентов очень важно, иначе не избежать нежелательных складок, образующихся под давлением. Исправить ошибку впоследствии будет невозможно. Если бы подготовка велась с жидким связующим, то стала бы настоящим испытанием для нервной системы рабочих с неясными перспективами успеха операции. На рисунке 3 дан общий вид аэродинамических элементов.



Рисунок 3. Общий вид аэродинамических элементов болида

ЛИТЕРАТУРА:

1. Углеродные волокна и углекомпозиты. Под ред. Э. Фитцер (Мир, Москва, 1988).
2. Молчанов Б.И., Гудимов М.М. Свойства углепластиков и области их применения.
3. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. Под ред. А.А. Берлина (ЦОП «Профессия», СПб, 2011).
4. Модифицированные антифрикционные углепластики и их применение // Вопросы материаловедения 1(57) (2009) 9-110.
5. Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы (Издательский Дом «Интеллект», Долгопрудный, 2010).
6. Фомин Н.Е., Ивлев В.И., Юдин В.А., Сигачев А.Ф. В сб.: Разработка эффективных авиационных, промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов. Под ред. С.М. Вдовина (изд-во Мордовского ун-та, Саранск. 2013), с. 50.

УДК 621.9

В.Д. Богомолов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СТРУЙНАЯ ЭЛЕКТРОЛИТНО – ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКА

Введение. В специализированной литературе уделяется большое внимание финишной обработке изделий разнообразных форм и размеров из различных материалов. При этом особый интерес вызывает чистовая обработка пространственно-сложных поверхностей металлических изделий с возможностью достижения низкого параметра Ra шероховатости поверхности, малого допуска на размер и высокой отражающей способности. Анализ источников литературы показал, что среди финишных методов для этого применяются операции ручной полировки войлочными кругами, вибраобразивной полировки гранулами и

зернами, безабразивной ультразвуковой финишной обработки (БУФО) роликами, электро – эрозионной полировки проволокой, магнитно – абразивной обработки (МАО) зерном абразива, гидроабразивная полировка струей воды, электрохимической полировки кислотными и солевыми электролитами. Альтернативой данным методам, является метод электролитно – плазменного полирования. Метод электролитно – плазменного полирования представлен в двумя основными видами, погружением изделия в электролитическую ванну [1] или обработкой струей(ями) [2] его поверхности. В этом случае локализованный фокусированный электрический разряд на поверхности изделия, позволяет проводить обработку поверхностного слоя материала [3]. Однако в связи с тем, что метод находится в разработке разными исследовательскими группами пока полностью не ясны его технологические возможности и перспективы использования. Целью настоящего исследования является анализ технологических возможностей съему материала для автоматизированной струйной электролитно-плазменной обработки изделий.

Оборудование и применяемые материалы. Для проведения исследований нами была выбрана установка электролитно-плазменного полирования, собранная в лаборатории струйной электролитно – плазменной обработки СПбПУ (рисунок 1) [4]. Обработку образцов проводили при неподвижном полом катоде, отличающимся от [5] тем, что за анод в нашем случае был выбран образец. Рабочее напряжение устанавливали 220-300 В. Вес образцов до и после обработки несколько раз фиксировали на лабораторных весах BM213M с ценой деления 0,001 г. В качестве электролитов использовали растворы аммония сернокислого (Na_2SO_4) – 20 г и аммония лимоннокислого ($(\text{NH}_4)_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) – 20 г, трилон -2г в водопроводной воде и NaCl -30 г и $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ – 30г. в водопроводной воде. Электролит подавали струей по трубке диаметром 3 мм со скоростью потока 16 л/ч. Скорость потока электролита измеряли пропусканием электролита массой 100 г с фиксацией времени по секундомеру. Эксперимент проводился при атмосферном давлении на 11 маркированных образцах размером 30 x 20мм из нержавеющей стали 15ХМФШ. Время на обработку устанавливалось равным 1 мин обработке.

Результаты эксперимента. Для установления зависимости скорости съема материала от выбранного электролита при изменении напряжения была произведена электролитно-плазменная обработка плоской поверхности образцов из стали 15ХМФШ.

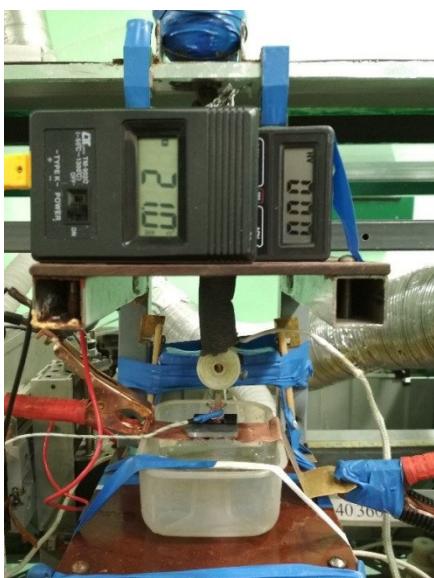


Рисунок 1. Внешний вид установки для проведения экспериментов для определения скорости съема при электролитно – плазменной обработке

Обсуждение результатов. На основании результатов проведенных исследований построены зависимости скорости съема массы стали 15ХМФШ, представленные на рисунке 2.

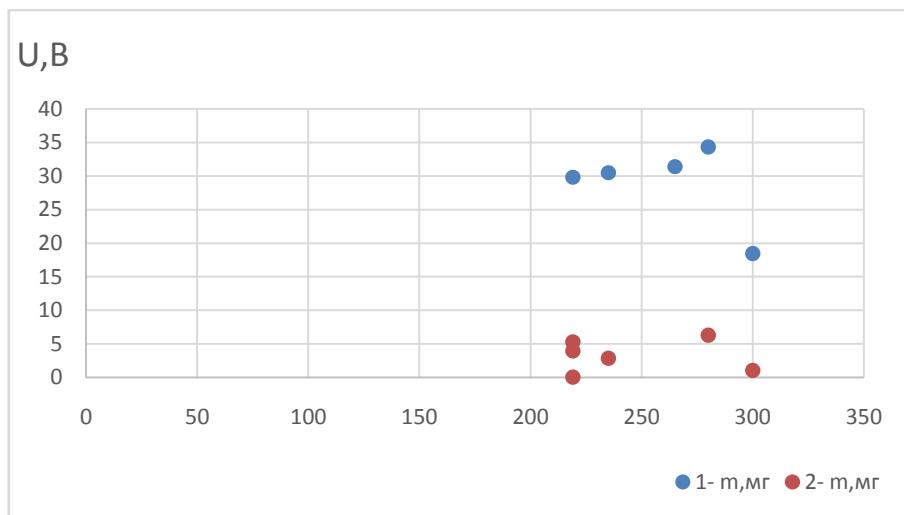


Рисунок 2. Зависимость скорости съема массы стали 15ХМФШ от напряжения при струйной электролитно – плазменной обработке: полый катод Ø 3мм 1–NaCL-30 г и лимоннокислой соли-30г ; 2 –(Na₂SO₄) – 20 г и аммония лимоннокислого ((NH₄)₃C₆H₅O₇) – 20 г, трилон -2г.

Показано, что максимальный съем металла достигается при обработке изделия в диапазоне рабочих напряжений 220-300 В. Наиболее предпочтительным электролитом для стали 15ХМФШ является электролит на основе NaCL и лимоннокислой соли. Скорости съема металла (до 30мг/мин) при оптимальном режиме обработки сопоставимы с массой металла необходимой для удаления микронеровностей и формирования гладкой поверхности после электролитно – плазменной обработки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Новиков В.И., Попов А.И., Тюхтяев М.И., Зейдан М.Н. Возможности электролитно-плазменного полирования при обработке деталей с различным начальным уровнем шероховатости поверхности // Технология металлов. 2013. №5 С.24-29.
2. Попов А.И., Тюхтяев М.И., Радкевич М.М., Новиков В.И. Анализ тепловых явлений при струйной фокусированной электролитно-плазменной обработке// Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2016. - № 4 (254). С. 141.
3. Попов А.И., Новиков В.И., Радкевич М.М. Особенности формирования электрического разряда между струйным электролитическим катодом и металлическим анодом при атмосферном давлении // ТВТ, 2019, Т.57. № 4. С. 483
4. Попов А.И., Радкевич М.М., Кудрявцев В.Н., Захаров С.В., Кузьмичев И.С. Установка для электролитно-плазменной обработки турбинных лопаток. Патент на изобретение РФ № 2623555. Кл. МПК: C25F7/00. 27.06.2017
5. Гайсин А.Ф. Устройство для получения электрического разряда. Патент на изобретение РФ № 2457571. Кл. МПК H01J13/02. 27.07.12

ФОРМИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ СЛОИСТЫХ СИСТЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ТИПА

Введение. Для достижения работоспособности металлообрабатывающего инструмента его рабочую часть изготавливают из материала, обладающего целым комплексом необходимых физико-механических свойств (высокими показателями износостойкости, твердости, теплостойкости, прочности и др.) [1]. Материалы, отвечающие всем требованиям и способные осуществлять резание, именуются инструментальными материалами.

Для режущего инструмента возможно использование минералокерамики известной своей высокой температуростойкостью (твёрдость HRC 89–95 при температуре 1200 °C) и износостойкостью [2, 3]. Эти свойства позволяют вести обработку стали, чугуна и цветных сплавов при высоких скоростях резания (например, чистовое обтачивание чугуна при скорости резания 3700 мм/мин, что в два раза выше скорости резания при обработке инструментом из твердых сплавов, а также, деталей из серых, ковких чугунов, труднообрабатываемых сталей, некоторых цветных металлов и сплавов на скоростях резания 435–1000 м/мин без подачи СОЖ (смазочно-охлаждающая жидкость) в зону резания [1].

Целью работы является разработка технологии формирования структуры инструментального назначения «сталь – Ti – MeO_x» (СТО) с износостойкой и высокотвердой рабочей поверхностью, в частности сменных режущих пластин.

Актуальность. Современные съемные режущие пластины, изготавливаются с применением высокотехнологических методов, включающих различные физические, механические и химические воздействия, в том числе для образования на поверхности тонкой пленки из нитрида титана. Основная проблема связана с высокой стоимостью и энергозатратностью известных способов нанесения нитрида титана на пластины режущего инструмента. Поэтому в данном проекте предлагается сформировать слоистую «сталь – титан – оксидную» (СМО) систему за счет последовательного использования комбинированной ресурсосберегающей технологии, включающей в себя три основных этапа. Первым этапом является контактная сварка для соединения металлических частей конструкции пластины. Следующим этапом является механическая обработка для формирования режущих кромок и завершающий этап – индукционный нагрев в кислородосодержащей среде (при атмосферном давлении) для создания на поверхности пластины износостойкого оксидного слоя.

Как показали результаты исследований, с помощью комбинированного подхода к образованию слоистой системы инструментального типа, а в частности контактной сборки-сварки и последующей индукционно термической обработки, во время которой поверхностный титановый слой образца интенсивно взаимодействует с кислородом воздуха. В результате происходит насыщение поверхности титана кислородом, последующее протекание химической реакции и образование высокопрочной слоистой системы «сталь – Me – MeO_x» (СМО) инструментального типа (Рисунок 1).

В процессе исследования микротвёрдости была также предварительно оценена возможность применения сформированных резцов СМО системы. В диапазоне температур от 1100 до 1300 °C и при выдержке в течении 5 минут удалось получить достаточно твердые оксидные покрытия. Твёрдость полученного металлоксидного (диффузионного) слоя при нагрузке на индентор Виккерса 50 гс составила 9,0–14,5 ГПа, что выше аналогичных значений по сравнению с инструментальными сталью, твёрдость которых составляет 6–

8 ГПа, и сопоставима с твердостью для титановольфрамовых металлокерамических сплавов равной 12–17 ГПа.

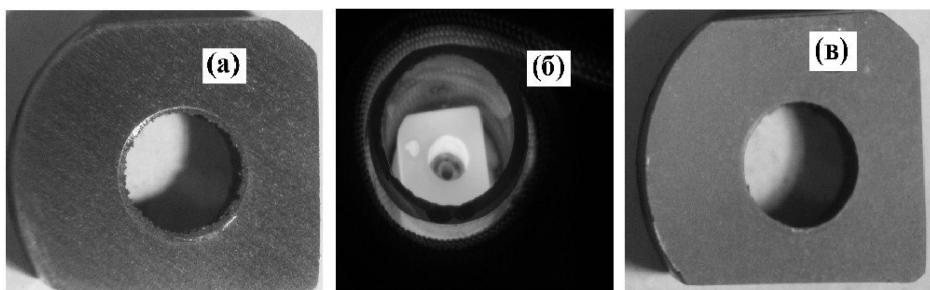


Рисунок 1. Получение оксидного покрытия: а – металлическая основа изделия после механообработки; б – высокотемпературный индукционный нагрев (светлая область) около 1200 °С сменная режущая пластина; в – изделие с оксидным покрытием

Согласно проведенным предварительным испытаниям на работоспособность режущих инструментов со СМО системой (резца) показано, что данные изделия выдерживают высокие контактные нагрузки, возникающие при получистовом точении среднеуглеродистой и нержавеющей стали (Рисунок 2, б).

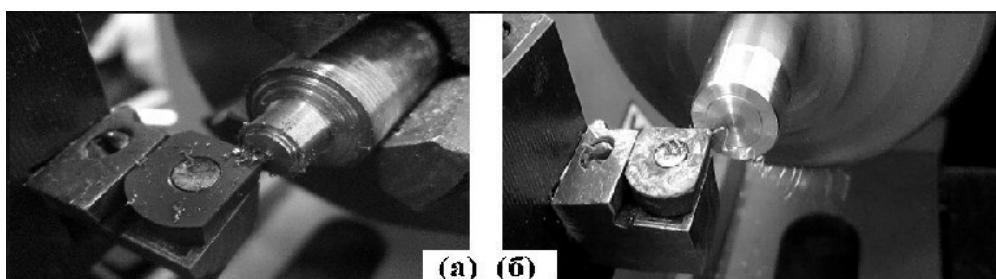


Рисунок 2. Токарная обработка режущим инструментом СМО системы:
а – обработка среднеуглеродистой стали; б – обработка нержавеющей стали

Вывод. Предложенный вариант обработки направлен на повышение эксплуатационных характеристик режущих элементов с одновременным снижением затрат на технологию их изготовления. Предложенный способ исключает необходимость использования дорогостоящих инструментальных металлокерамических сплавов и нанесения нитридов титана при изготовлении режущих пластин. Данный подход к образованию СМО систем, позволяет получить износостойкое и теплостойкое покрытие на режущих пластинах металлообрабатывающего инструмента.

Благодарность. Работы выполнены при поддержке гранта Президента РФ (проект МД-157.2019.8). Исследование эксплуатационных параметров режущих пластин выполнено при поддержке стипендии Президента РФ (проект СП-571.2019.1).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Черпаков Б. И., Альперович Т. А. Металлорежущие станки : учеб. – М. : Академия, 2003. 368 с.
2. Сверхтвердые покрытия рутила и технология их получения на медицинских титановых изделиях [Текст] / А.Ю. Щелкунов, А.А. Фомин // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-30 : сб. тр. XXX междунар. науч. конф., г. Санкт-Петербург, 30 мая - 2 июня 2017 г., г. Саратов, 10-12 октября 2017 г., г. Минск (Беларусь) : в 12 т. - Саратов, 2017. - Т. 12, № 3-2. - С. 90-94.

3. Закономерности формирования и роль вторичных структур в повышении износостойкости технически чистого титана ВТ1-0 / Гриценко Б.П., Иванов Ю.Ф., Коваль Н.Н., Круковский К.В., Гирсова Н.В., Тересов А.Д., Раточка И.В., Мишин И.П. // Трение и износ, 2012. № 3. С. 236–242.

УДК 691.175.5/8

Е.А. Богданова¹, А.Л. Диденко², И.А. Кобыхно¹, В.В. Кудрявцев², О.В. Толочко¹

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

²Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИУРЕТАНИМИДОВ С ПОДХОДОМ ТОНКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДЕМПФИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Стабильные динамические свойства конструкций в машиностроении имеют большое значение для непрерывной и продолжительной эксплуатации, так как вибрации механизмов приводят к быстрому износу деталей. Кроме того, возникновение вибраций в различных узлах механизмов является нежелательным, поскольку приводит к появлению шума. В условиях колебаний, возникших под влиянием внешних воздействий, поведение системы определяется ее демпфирующей способностью, то есть способностью рассеивать механическую энергию.

Демпфирующие материалы предназначены для гашения колебаний и устранения передачи вибраций от механизмов на конструкции. Наиболее широко, в качестве вибропоглощающих материалов, используются полимеры. Природа поглощения колебаний полимерами связана с релаксационными процессами. Возникающие при постоянной деформации напряжения снижаются за счет молекулярных изменений. Способность к релаксации, соответственно, и к демпфированию у всех полимеров разная и зависит от их молекулярного и надмолекулярного строений [1].

Для оценки степени демпфирования используют коэффициент механических потерь (КМП), принимаемый равным тангенсу угла механических потерь $\tan \delta$ (определяют в результате динамических-механических испытаний). Значение $\tan \delta$ выше для материалов, где больше энергии тратится на внутреннее движение и трение цепей макромолекул. Максимум $\tan \delta$ приходится на область температуры стеклования, поскольку происходит размораживание структурных фрагментов, и реализуется сегментная подвижность ближнего порядка.

Часто для вибропоглощения используют синтетические каучуки, простые и сложные эфиры поливинилового спирта, эпоксидные смолы и т.д. Эксплуатационный температурный диапазон демпфирования перечисленных полимеров обычно охватывает 20–30 °C, что обуславливает узкую сферу практического применения материалов [2]. Для расширения применения демпфирующих полимеров необходимо получение материалов со следующими характеристиками:

1. Стабильно высокое значение КМП в широком диапазоне температур.
2. Область стеклования, смещенная в сторону низких температур: 10 °C и ниже.
3. Высокие термические и механические свойства.

Лучшими вибропоглощающими свойствами характеризуются взаимопроникающие сетки, полимерные смеси и сополимеры [3]. В рамках работы получали ряд линейных сополимеров – полиуретанимидов, которые состоят из чередующихся различных по строению и составу мономерных блоков, определяющих физические и химические свойства каждого звена, с целью суммировать свойства полиуретанов (демпфирующая способность, эластичность) и полиимидов (термическая стабильность, высокие механические свойства).

Для получения полимеров с высоким коэффициентом демпфирования и термостабильностью необходимым является строгий подход к регулированию структуры мономерного звена, а также надмолекулярного строения. Высокие демпфирующие характеристики достигаются путем реализации определенного соотношения гибкости цепи и межмолекулярных взаимодействий, обеспечивающих высокую степень релаксации цепей высокомолекулярных соединений. Высокие термические свойства реализуются за счет сочетания свойств гибких и жестких блоков в макромолекулах полиуретанимидов, а также за счет взаимного проникновения фаз, водородных связей и других межмолекулярных взаимодействий.

В рамках работы синтезировали ряд полиуретанимидов: с разными полиэфирами, диаминами и сшивателями. Полиуретанимиды получали по методике одностадийного синтеза: полученный расширенный диамином макромономер поликонденсировали с последующей термической имидизацией в растворе. Сшитые системы получали путем введения в основное элементарное звено диаминобензойной кислоты и сшивателей ароматической природы (толуилен-2,4-диизоционата (ТДИ), метилендифенилдиизоционата (МДИ)) и алифатической (1,2,5,6-диэпоксициклооктана (ДЭО)).

В качестве основных полиэфиров использовали простой – полипропиленгликоль и сложный – полидиэтиленгликольадипат, с молекулярными массами 2300 и 2500 г/моль, соответственно. Последний является более гибким и имеет большую молекулярную массу, поэтому в системах с ним ожидались лучшие демпфирующие свойства.

Для увеличения термостойкости конечных полиуретанимидов в их структуры вводили ароматические диамины: диамин 1,4-бис(4'-аминофенокси)дифенилсульфона (СОД-п) или диамин 4,4'-бис-(4''-аминофенокси)дифенила (ОДФО), при этом предполагалось, что содержащаяся сульфогруппа в СОД-п будет способствовать образованию водородных связей. На Рисунке 1 представлена структурная формула сшитой системы полиуретанимода с полипропиленгликолем, диамином ОДФО и сшивкой ТДИ.

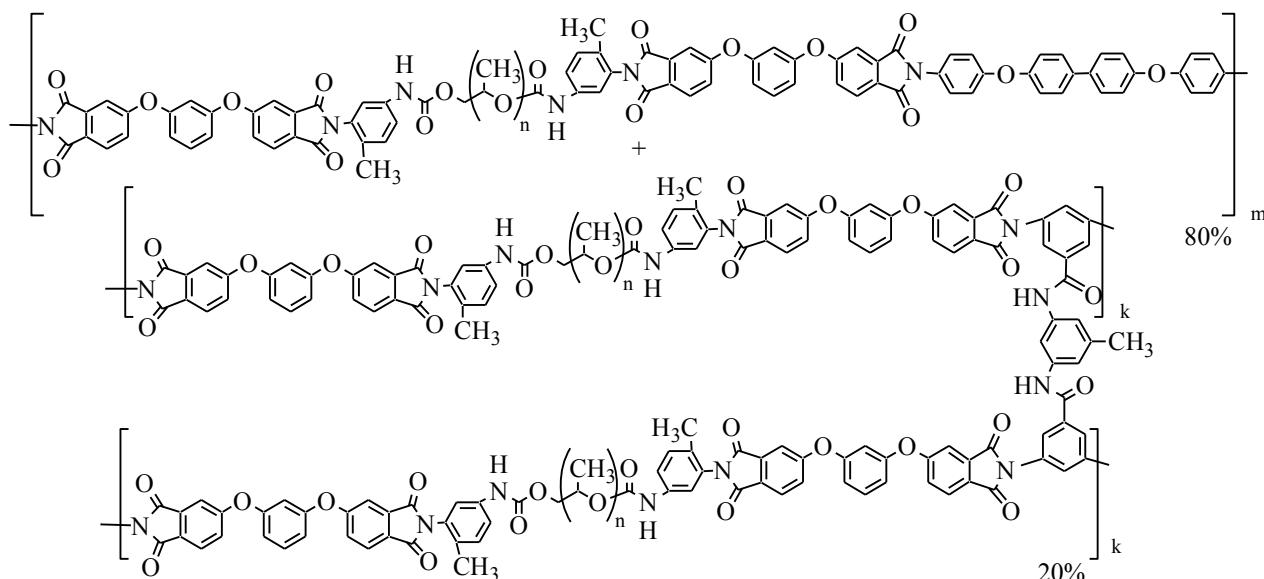


Рисунок 1. Структурная формула полиуретанимода с полипропиленгликолем, диамином ОДФО и сшивкой ТДИ

Термогравиметрические кривые снимали на термомикровесах TG 209 F1 (NETZSCH, Германия) в диапазоне температур от 30°C до 600°C при скорости нагрева 10°C/мин в инертной среде (argon). Все полученные полиуретанимиды и их сшитые модификации

характеризовались высокой термостойкостью: деструкция начиналась при температурах не ниже 250 °C, потеря 5% массы – не ниже 318 °C, причем наиболее термостойкими являлись сшитые системы с повышенным содержанием ароматических блоков.

Температурные зависимости динамических величин образцов были получены методом динамического механического анализа (DMA) на установке DMA242 C (NETZSCH, Германия). Измерения проводились на частоте 1 Гц, скорость нагревания 5°C/мин. Температуры стеклования образцов определяли по температуре максимума $\tan \delta$. На Рисунке 2 представлены кривые DMA образца, для которого выше показана формула.

По данным DMA стеклование полимерных систем с полипропиленгликолем происходит в области низких температур (-20 – -30 °C), тогда как образцы с полидиэтиленгликольадипатом характеризуются более высокими значениями (-8 – 6 °C), что связано со сложной структурой эфира. Для сшитых ДЭО полиуретанимидов $\tan \delta$ составляет 0,35 – 0,39. Эффективное демпфирование осуществляется в широких температурных диапазонах – от 50 до 80 °C для разных систем. Со снижением конформационной подвижности падают значения КМП: от сшитых ДЭО к сшитым МДИ, и затем – к сшитым ТДИ. Данные подтвердили исходные предположения об ингибировании вязкого течения молекулярных цепей за счет сшивания ароматическими агентами разной природы.

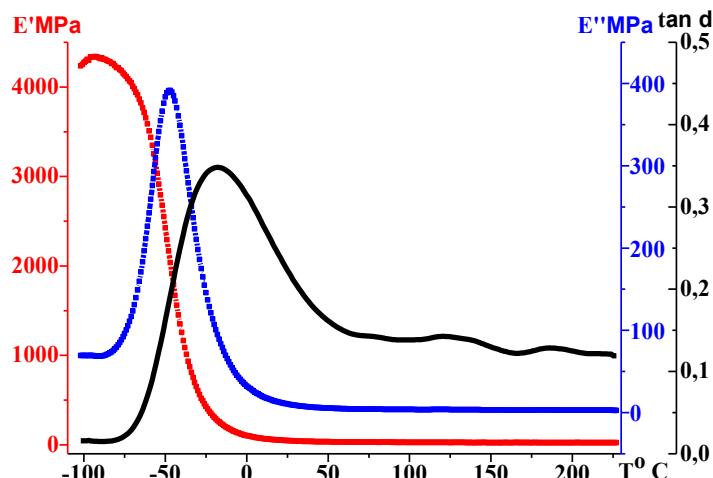


Рисунок 2. DMA для сшитой системы полиуретанимида, описанного ранее

В результате проведенной работы был получен ряд полиуретанимидов, которые имеют стабильно высокое значение КМП в широком диапазоне температур, области стеклования находятся в диапазоне температур ниже 10 °C. Синтезированные полимеры характеризуются высокими термическими и механическими свойствами.

В дальнейшем, исследованные полимерные системы будут использованы для получения демпфирующих композиционных материалов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Tian, Y. High damping properties of magnetic particles doped rubber composites at wide frequency / Y. Tian, Y. Liu, M. He, G. Zhao, Y. Sun //Materials Research Bulletin. – 2013. – 48. – P.2002–2005.
2. Qin C. L. et al. Damping properties and morphology of polyurethane/vinyl ester resin interpenetrating polymer network //Materials Chemistry and Physics. – 2004. – Т. 85. – №. 2-3. – С. 402-409.
3. Li F., Larock R. C. New soybean oil- Styrene- Divinylbenzene thermosetting copolymers—IV. Good damping properties //Polymers for Advanced Technologies. – 2002. – Т. 13. – №. 6. – С. 436-449.

ГИДРОАБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС РАЗЛИЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

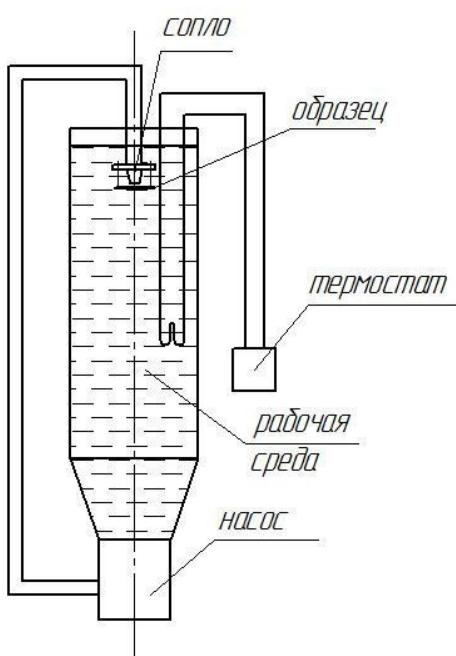
Гидроабразивный износ является разновидностью эрозии.

Эрозия может быть определена как механическое удаление материала с металлических поверхностей и сильно отличается от коррозии, которая разрушает химическим или электрохимическим воздействием [1]. Существуют различные виды эрозии: газовая, кавитационная, абразивная и так далее. Процесс эрозии может проходить в любой среде (жидкой, газообразной).

Данная статья посвящена водной эрозии применительно к нефтегазовой отрасли. Водная эрозия включает в себя удаление материала кавитацией (взрыв пузырей), а также попаданием жидких или твердых частиц [2]. Скорость эрозии материала возрастает в несколько раз, если на кавитационные явления накладываются абразивные [3]. Это является большой проблемой для нефтегазовой отрасли.

Элементы многих конструкций и устройств часто работают в условиях кавитирующей жидкости с абразивом, в технике гидроабразивному износу подвергаются рабочие колеса, лопасти и камеры гидротурбин, пульпопроводы гидротранспорта, рабочие колеса центробежных насосов и т. д. подвергаясь интенсивной эрозии [4].

При умеренных скоростях потока жидкости (менее 100 м/с) происходит интенсивный гидроабразивный износ обтекаемой преграды, вызванный механическим воздействием на материал твердых частиц, перемещаемых потоком жидкости. Разрушение материала происходит в результате срезания, выкрашивания, выбивания абразивными частицами частиц его поверхности.



Проблема выбора материалов и покрытий для деталей машин, работающих в этих условиях, всегда остается актуальной.

Для оценки покрытий проводились испытания на особой установке гидроабразивного износа (рисунок 1), которая в течение определенного времени циркулировала поток жидкости с песком, ударяя об образец, и тем самым разрушала покрытие.

Были подготовлены по 2-3 образца 30x30 различных покрытий. Испытание проводилось 7-8 часов или до момента начала снятия покрытия с подложки. Расстояние от сопла до образца – 12 мм. Вода использовалась проточная, охлаждалась до ~20°C во время испытания. Диаметр сопла – 20 мм. Образец устанавливался перпендикулярно потоку воды с песком.

Использовался кварцевый песок, фракции – 0.5 – 1 мм, содержание в воде – 1.5%. Объем емкости – 28 л. Расход насоса – 8.5 м³/час.

Рисунок 1. Схема установки для эрозионного износа

Таблица 1. Экспериментальные данные

Маркировка покрытий	m_1 , г	m_2 , г	Δm , г	$\langle \Delta m \rangle$, г	ε / T , час ⁻¹	h_1 , мм	T, час
1 - 1	39,97	39,70	0,27		0,268	0,1	2:30
1 - 2	42,91	42,64	0,27	0,270	0,252	0,1	2:30
2 - 1	44,86	44,63	0,23		0,078	0,48	6:30
2 - 2	49,88	49,65	0,23	0,213	0,064	0,515	7
2 - 3	45,95	45,78	0,18		0,054	0,515	7
3 - 1	45,13	44,96	0,17		0,063	0,37	6
3 - 2	47,20	47,02	0,18	0,160	0,065	0,37	6
3 - 3	41,94	41,81	0,13		0,052	0,37	6
4 - 1	50,67	50,38	0,29		0,081	0,34	7
4 - 2	51,45	51,24	0,20	0,245	0,073	0,37	5:30
5 - 1	44,52	44,40	0,12		0,062	0,33	4:30
5 - 2	48,42	48,32	0,10	0,100	0,044	0,315	4:30
5 - 3	47,95	47,88	0,08		0,036	0,335	4:30
6 - 1	36,09	35,99	0,10		0,039	0,502	7
6 - 2	36,33	36,22	0,11	0,097	0,044	0,504	7
6 - 3	33,31	33,23	0,08		0,033	0,58	7
7 - 1	40,80	40,55	0,26	0,260	0,074	0,54	8:30
8	57,93	57,49	0,44	0,440	0,190	0,495	4
9 - 1	36,27	35,80	0,46		0,320	0,44	4
9 - 2	31,40	30,83	0,58	0,5	0,458	0,45	4
9 - 3	30,37	29,90	0,47		0,385	0,5	4
10 - 1	42,98	42,85	0,13		0,043	0,38	7
10 - 2	42,67	42,53	0,14	0,123	0,046	0,375	7
10 - 3	43,33	43,23	0,10		0,031	0,36	7

Обозначения к таблице 1: m_1 – масса до испытания; m_2 – масса после испытания; $\Delta m = m_1 - m_2$ – потеря массы; $\varepsilon / T = \Delta m / (m_1 * T)$ – относительная потеря массы в час (было введено из-за различий во времени испытаний); h_1 – толщина покрытия; Т – время испытания.

Фотографии некоторых образцов после испытания на износ (рисунок 2 и рисунок 3).

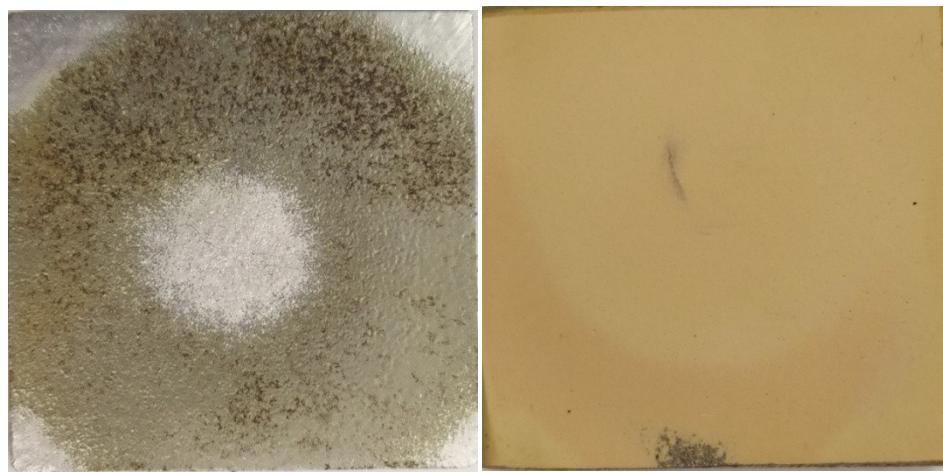


Рисунок 2. Образцы 1 - 1 и 2 - 2

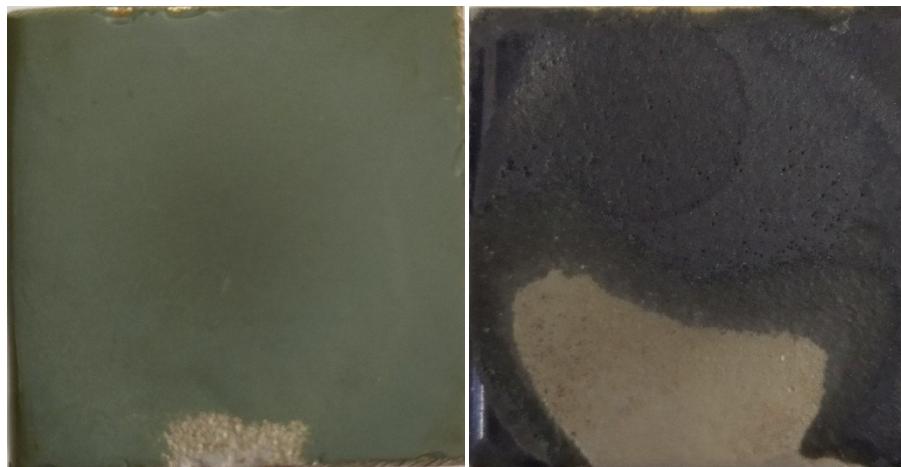


Рисунок 3. Образцы 5 - 2 и 9 - 2

В результате проведенных испытаний, из таблицы 1 видно, что покрытия с маркировкой 1, 8, 9 больше всего подвержены эрозионному воздействию. А покрытия 10 и 6 проявили себя наиболее устойчиво в экспериментальной среде.

ЛИТЕРАТУРА:

1. API RP 14E, Recommended practice for the design and installation of offshore production platform piping system, 3rd edition, 1981.
2. API RP 14E, API Recommended practice for the design and installation of offshore production platform piping system, 5th edition, 1991.
3. Козырев С.П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации / С.П. Козырев. – М.: Машиностроение, 1971. – 240 с.
4. Урванцов Л.А. Эрозия и защита металлов. М. Машиностроение 1966г. 236 с.

УДК 621.789

Ю.В. Петрухин, М.М. Радкевич

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРУЖИН

Введение. Пружины должны обладать максимальными упругими свойствами. Для титанового сплава BT23 эти свойства обеспечивает структура без содержания первичной α -фазы с дисперсной и глобуллярной вторичной α -фазой равномерно распределенной [1]. Отличительной особенностью технологического процесса изготовления пружин из титанового сплава BT23 является введение дополнительных контрольных операций, формирующей $(\alpha+\beta)$ фазу: операции закалки и старения в напряженном (поджатом) состоянии (в некоторых случаях старение проводят в два этапа). В статье установлены оптимальные режимы термообработки путем перебора различных вариантов температурных и временных параметров.

Испытание материала и методы. На рисунке 1 представлена фотография микроструктуры титанового сплава BT23 в состоянии поставки. Образцы изготовлены из листа толщиной 5 мм, подвергнутого отжигу. Режимы отжига: нагрев до 750 выдержка 25 минут и охлаждение на воздухе.

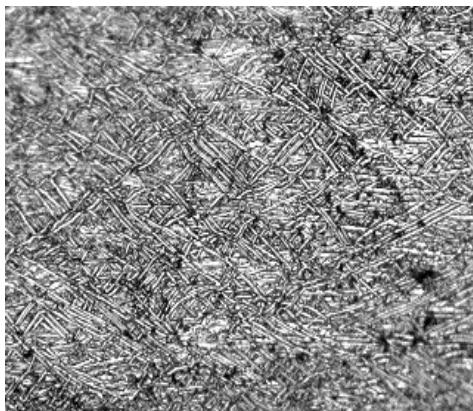


Рисунок 1. Микроструктура листа $t = 5$ мм из сплава BT23 в состоянии поставки ($\times 500$)

Как видно из рисунка 1 микроструктура титанового сплава представляет собой 2-х фазную ($\alpha + \beta$) - структуру, типичную для отожжённых ($\alpha + \beta$) – сплавов. Первичная α -фаза показана белым цветом в виде вытянутых утолщенных переплетенных между собой отрезков, вторичная α –фаза (образовавшаяся после отжига) показана белым цветом в виде включений различной формы, β – фаза изображена темным цветом. Механические свойства исследованного титанового сплава BT-23 в состоянии поставки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Механические свойства листа $t = 5$ мм из сплава BT23 в состоянии поставки

Режим термической обработки	Механические свойства					
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	KСU, Дж/см ²	HRC
Отжиг: 750°C, 25мин, воздух	910	1000	11	40	58	34,0

В процессе исследования сплава BT23 была экспериментально установлена температура A_{c3} сплава (граница $\alpha + \beta / \beta$ - фазовых областей на диаграмме состояния) находится в интервале: 870 - 880°C,

На рисунке 2 изображена микроструктура титанового сплава BT23 после закалки.



Рисунок 2. Микроструктура листа $t = 5$ мм из сплава BT23 после закалки ($\times 500$)

Из рисунка 2 следует, что после закалки от температуры 850°C в структуре сплава BT23 присутствуют остаточная первичная α -фаза (утолщенные светло белые отрезки),

вторичная мартенситная α -фаза (на фотоснимке образования белого цвета с затемненными границами зерен), метастабильная β -фаза (сероватый фон между зернами α фаз). При этом по сравнению микроструктурой после отжига (рисунок 1) в структуре сплава произошли изменения, заключающиеся в том, что структура стала более равномерной: включения вторичной α -фазы имеют соизмеримую друг с другом дисперсность.

Результаты проведенных испытаний механических свойств исследованного титанового сплава BT23 после закалки от различных температур приведены в таблице 2. Полученные результаты позволяют заключить, что температура закалки 850°C является оптимальной, поскольку позволяет сформировать в исследуемом сплаве BT23 равномерную микроструктуру, обеспечивающую получение высокой прочности при достаточно большом запасе пластических характеристик и ударной вязкости перед последующим проведением упрочняющей технологической операции – «старение» [2].

Таблица 2. Механические свойства листа $t = 5$ мм из сплава BT23 в закаленном состоянии

№ образца	Режим закалки	Механические свойства					
		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	KСU, Дж/см ²	HRC
1	850°C, 60 мин, вода	520	850	8	11	30	37,0÷37,5
2	850°C, 60 мин, вода	510	780	7	8	35	36,5

Исследование влияния режима старения на структуру и свойства материала листа $t = 5$ мм выполняли на образцах сплава BT23, предварительно закаленных от температуры 850°C. На рисунке 3 изображена микроструктура титанового сплава BT23 после закалки и старения. Режим старения: нагрев до температуры 550° С и выдержка в течение 10 часов. Анализ результатов исследования показал, что использование предварительной закалки позволяет получить при последующем старении в сплаве BT23 благоприятную глобулярную структуру.

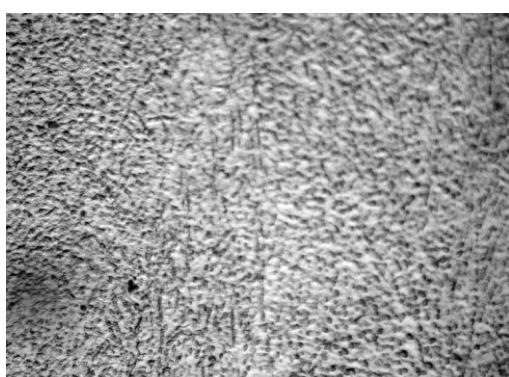


Рисунок 3. Микроструктура образцов сплава BT23 после закалки и старения

Из рисунка 3 следует, что в структуре сплава BT 23 после закалки и старения присутствуют: первичная α -фаза, небольшое количество удлиненных пластинок белого цвета видоизменившихся в результате термообработки, вторичная α -фаза (белые окружности

неправильной формы), β -фаза (серый фон). Механические свойства сплава BT23 после старения с предварительной закалкой приведены в табл.3

Таблица 3. Механические свойства исследованного сплава BT23
после старения с предварительной закалкой

№ образца	Режим термообработки (закалка + старение)	Механические свойства					
		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	HRC
1	850°C, 60 мин, вода + 550°C, 10 час	1220	1320	8	19	26	38,5÷39,5
2	850°C, 60 мин, вода + 550°C, 10 час	1240	1325	10	27	28	39,0÷39,5

Заключение. Исследование микроструктуры титанового сплава BT23 показало выявленное при исследовании механических свойств преимущество термической обработки по режиму: закалка от 800÷850°C с последующим старением при 550°C. Этим режимом можно получить однородную ($\alpha + \beta$)-структуру титанового сплава с равномерным распределением глобулярных включений α -фазы средних размеров. В результате испытаний образцов под воздействием симметричного цикла нагрузок (напряжения изменяются с высокой амплитудой) установлено, что материалы с глобулярной структурой обладают большей долговечностью по сравнению с материалами, имеющими пластинчатую структуру. Глобулярная структура способствует достижению наилучшего комплекса механических свойств в сплаве BT23 и обеспечивает высокую надежность и работоспособность изготовленных из него изделий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Радчик А.С. Буртовский И.И. Пружины и рессоры. Москва, 1973.
2. Яковлев А.Л., Ночовная Н.А. Влияние термической обработки на свойства листов из высокопрочного титанового сплава BT23. 2013. № 4. С. 8—13.
3. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: Справочник. М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. 520 с

УДК 621.9.074

К.Г. Колесин, Е.С. Берестенников, М.В. Новоселов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ВЛИЯНИЕ СТРУЙНОГО ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОЛИРОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗМЕРОВ

Введение. В машиностроении к сложно профильным деталям часто предъявляются высокие требования к точности и параметру Ra шероховатости поверхности. Получение геометрических изделий с одновременным выполнением размеров, укладывающихся в жесткий допуск (до 5 квалитета), и одновременным параметром шероховатости поверхности $0.2 \leq Ra \leq 0.8$ является трудоемкой операцией.

В настоящее время на большинстве предприятий данные операции финишной обработки поверхности осуществляется вручную на полировальных бабках, с использованием войлочных кругов с применением клееного абразивного зерна. Данный

метод имеет ряд недостатков, связанных с нестабильным качеством кругов, а также с недостаточной стабильностью выполнения размеров с помощью ручного труда. На смену традиционным методам финишной обработки поверхностей предлагаются новые методы электролитно-плазменной обработки такие, как погружение изделия в электролитическую ванну [1-3] и обработка поверхности одной и более струей электролита [4]. Метод включает обработку поверхности изделия - анода струей электролита, подаваемой из сопла – токоподвода [5, 6]. Движение катода производится с помощью программы по трем осям координат. К особенностям метода струйной электролитно-плазменной обработки можно отнести низкие энергозатраты [7], низкие температуры обработки [8]; обработка имеет локальный характер [9]. С помощью данного метода достигается высокая точность и низкая шероховатость обрабатываемой поверхности. Метод позволяет осуществлять полирование сложных поверхностей, таких как штампы, пресс-формы, турбинные лопатки и другие изделия из различных токопроводящих материалов. По всем показателям метод струйной электролитно-плазменного обработки подходит для точного выполнения размеров и полирования. Однако в литературе этот вопрос является недостаточно изучен.

Цель исследования состоит в изучении влияния струйного электролитно-плазменного полирования на точность выполнения геометрических размеров при различных режимах электролитно – плазменной обработки поверхностей нержавеющих сталей. Задачами работы являются, исследование параметра R_a шероховатости поверхности при различных режимах обработки, получение качественной полированной поверхности металла с минимальной шероховатостью поверхности, установление минимальной величины снимаемого слоя с поверхности исходного материала при электролитно – плазменном полировании.

Оборудование и применяемые материалы.

Эксперименты по струйному электролитно - плазменному полированию образцов проводили на опытной установке (рисунок 1), предложенной авторами работы [10].

Установка состоит из системы подачи электролита и блока питания. Блок питания установки собранный по схеме Ларионова, один его полюс подключен к обрабатываемому изделию 4, а второй к токоподводу 2. В качестве токоподвода в исследованиях использовали полый токоподвод [3] и наборный токоподвод [4]. В качестве электролита использовали раствор аммония сернокислого $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) – 10 г и аммония лимоннокислого $((\text{NH}_4)_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) – 10 г в водопроводной воде. Электролит подается струей по трубке диаметром 3 мм со скоростью потока 4.6-9.0 л/ч.

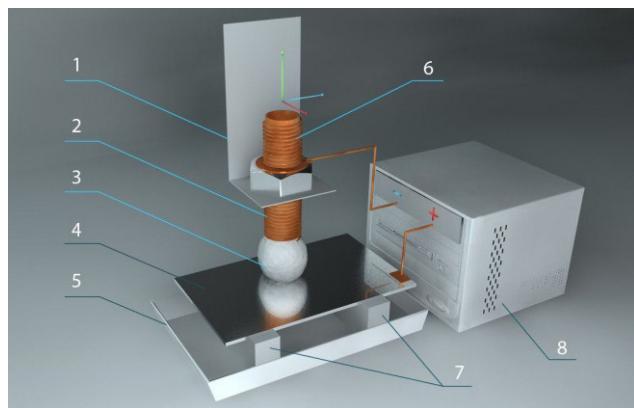


Рисунок 1. Принципиальная схема обработки поверхности полированием:
1- держатель токоподвода, 2 – токоподвод, 3 – электролитический катод, 4 - изделие,
5 - ванна приема электролита, 6 - трубопровод подачи электролита, 7- изолированные опоры,
8 – блок питания.

Напряжение, подаваемое на изделие из нержавеющей стали AISI304, равно 200-240В.

Результаты эксперимента. Параметры электролитно-плазменной обработки с использованием полого токоподвода, зафиксированы в таблице 1.

Таблица 1. Глубина съема материала с поверхности образца

Длина обрабатываемой поверхности l, мм	Ток I, А	Напряжение U, В	Подача S, мм/мин	Подача электролита, л/ч	Число проходов n, шт	Глубина съема материала с поверхности образца, мм
50	1,02	225	34,1	9,0	1	0,112
50	0,71	230	17,1	9,0	1	0,130
50	0,65	230	17,1	6,1	1	0,058
50	0,40	250	17,1	4,6	1	0,146
50	1,42	250	17,1	4,6	1	0,205
58	0,33	260	17,1	4,6	1	0,144
58	0,33	260	17,1	4,6	3	0,092

Параметры с использованием наборного токоподвода представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры с использованием наборного токоподвода

область	Ток I, А	Напряжение U, В	Подача электролита, л/ч	Число проходов n, шт	Глубина съема материала с поверхности образца, мм	Шероховатость
1	1,2-1,5	250-260	4-6	2/1 (3)	0,020	Ra 0,062 мкм
2	0,8-1,1	270	5-6	3/1 (4)	0,031	Ra 0,068 мкм
3	1,1	260	5	2/1 (3)	0,035	Ra 0,067 мкм
4	1,1	260	5	3/2 (5)	0,045	Ra 0,036 мкм
5	1,1	260	5	1	0,016	Ra 0,083 мкм

На основании полученных результатов эксперимента можно сделать вывод о качестве полированной поверхности. Поверхности выполнена с высокой точностью и низкой шероховатостью с зеркальным блеском. Получена минимальная шероховатость поверхности $Ra=0,036$ мкм, установлена минимальная величина снимаемого слоя $t = 0,016$ мм.

Обсуждение результатов.

Описана экспериментальная электролитно - плазменная установка, позволяющая осуществлять обработку образцов с помощью электролитно - плазменной струи, направленной сверху на поверхность изделия. Показано применение полого и наборного, токоподвода для получения изделия с высокой точностью и низким уровнем шероховатости поверхности. Показана принципиальная возможность обработки изделий с высокой точностью и низким уровнем шероховатости поверхности для нержавеющей стали AISI304 с использованием струйной электролитно - плазменной обработки в лабораторных условиях с

перспективой использования полученных результатов в металлургии, машиностроении, турбинном производстве.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Электролитно-плазменная обработка материалов / Под ред. Куликов И.С. Минск: Беларуская наука, НАН Беларуси, Объединенный ин-т энергетических исследований, Сосны, 2010. 232 с.
2. Новиков В.И., Попов А.И., Тюхтяев М.И., Зейдан М.Н. Возможности электролитно-плазменного полирования при обработке деталей с различным начальным уровнем шероховатости поверхности//Металлообработка. 2011. 1(61). С.13.
3. Nestler K., Böttger-Hiller F., Adamitzki W., Glowa G., Zeidler H., and Schubert A./*Plasma Electrolytic Polishing - An Overview of Applied Technologies and Current Challenges to Extend the Polishable Material Range* //Procedia CIRP. 2016. V. 42. P. 503-507.
4. Новоселов М.В., Шиллинг Н.Г., Рудавин А.А., Радкевич М.М., Попов А.И. Оценка возможности полирования нержавеющих сталей струйной электролитно - плазменной обработкой //Вестник ПНИПУ. 2018. №1. С. 95.
5. Гайсин А.Ф. Устройство для получения электрического разряда. Патент на изобретение РФ № 2457571. Кл. МПК H01J13/02. 27.07.12
6. Попов А.И., Радкевич М.М., Медко В.С.Рудавин А.А., Шиллинг Н.Г. Магнетронная распылительная головка. Патент на изобретение РФ № 2656318. Кл. МПК: C25F7/00. 04.04.2017
7. Попов А.И., Радкевич М.М., Медко В.С., Новоселов М.В. Устройство для электролитно-плазменной обработки металлических изделий. Патент на изобретение РФ № 2681239. Кл. МПК: C25F7/00. 13.06.2018
8. Попов А.И., Тюхтяев М.И., Радкевич М.М., Новиков В.И. Анализ тепловых явлений при струйной фокусированной электролитно-плазменной обработке// Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2016. - № 4 (254). С. 141.
9. Popov A.I., Novikov V.I., Radkevich M.M. Characteristics of the Development of Electric Discharge between the Jet Electrolyte Cathode and the Metal Anode at Atmospheric Pressure// High temperature. 2019.-Vol. 57. No. 4. P. 483-495.
10. Попов А.И., Радкевич М.М., Кудрявцев В.Н., Захаров С.В., Кузьмичев И.С. Установка для электролитно-плазменной обработки турбинных лопаток. Патент на изобретение РФ № 2623555. Кл. МПК: C25F7/00. 27.06.2017

УДК 621.7.043

Е.О. Фролова, В.А. Лобов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТУРБИННОЙ ЛОПАТКИ

Лопатки являются основными рабочими деталями турбины и эксплуатируются в условиях агрессивной среды и под действием высоких температур и давлений. Во время работы они испытывают большие нагрузки, значительные статические и динамические температурные напряжения.

Турбинная лопатка – деталь, состоящая из трёх конструктивных элементов: хвостовика, рабочей части (перо лопатка) и головной части.

Рабочая часть лопатки имеет изогнутую форму и переменный по длине профиль нетехнологичные с точки зрения обработки давлением (сочетание тонкого полотна пера с массивным хвостовиком), высокая стоимость высоколегированных сталей и сплавов, трудоемкость последующей механической обработки должны учитываться при разработке технологических процессов горячей штамповки заготовок лопаток.

Эскиз лопатки представлен на рисунке 1.

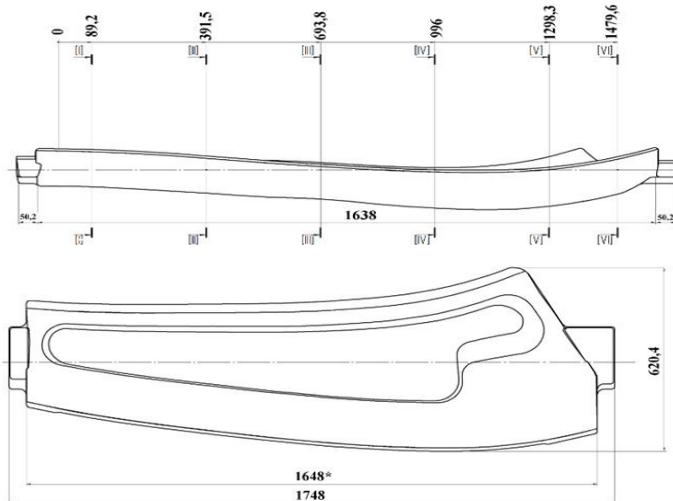


Рисунок 1. Эскиз лопатки

Площади поперечного сечения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Площади поперечного сечения лопатки

Площадь сечения S, мм ²					
I-I	II-II	III-III	IV- IV	V- V	VI - VI
14118	15314	15795	17430	24492	19192

Высота данной турбинной лопатки составляет 1748 мм, ширина – 620,4 мм. Масса поковки – 243 кг. Изделие выполняется из сплава 08Х13. Категория прочности для данного изделия- КП40, по ОСТ 108.020.03-82 лопатка является направляющей.

В результате анализа предлагаемого технологического процесса можно выделить основные операции: подготовка мерных заготовок, нагрев перед штамповкой, два перехода горячей обработки давлением, обрезка облоя, термическая обработка, отделочные операции, контроль.

Для выполнения расчёта в программе «Компас 3D» построена модель поковки направляющей лопатки, которая представлена на рисунке 2.

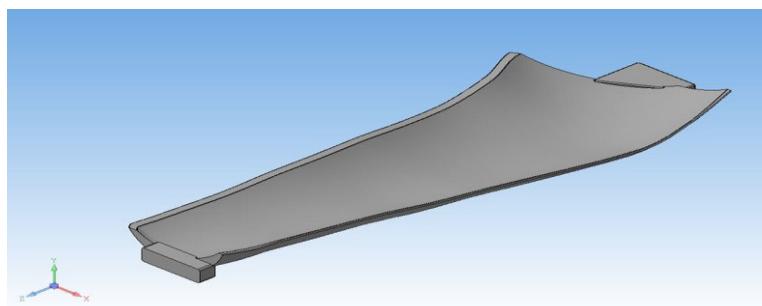


Рисунок 2. Модель поковки направляющей лопатки

Поковка штампуется перпендикулярно оси заготовки, следовательно, в соответствии с классификацией поковок приведённой в таблице 4 [1] она относится к первой группе – штамповка плашмя.

Выбор облойной канавки при штамповке сплава 08Х13 определен по нормативам, рекомендуемым для сталей [2, 3]. Схема облойной канавки с основными размерами, представлена на рисунке 3.

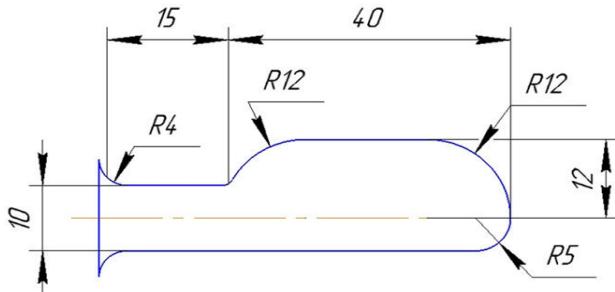


Рисунок 3. Схема облойной канавки

Для определения размеров исходной заготовки построена эпюра поперечных сечений и эпюра диаметров. Полученные значения поперечных сечений и диаметров расчётной заготовки представлены в таблице 2.

Таблица 2. Площади поперечных сечений поковки, сечений эпюры и эпюры диаметров

Номер сечения	S_n	$S_{об.к.}$	ξ	S_2	d_2	h_2
	мм ²	мм ²		мм ²	мм	мм
1	14118	768	0,5	14886	137,7	89,2
2	15314			16082	143,1	391,5
3	15795			16563	145,3	693,8
4	17430			18198	152,3	996
5	24492			25260	179,4	1298,3
6	19192			19960	159,5	1479,6

В соответствии с полученным значением диаметра исходной заготовки по ГОСТ 2411-77 «Прутки из сплавов горячекатаные и кованые. Сортамент» определен ближайший диаметр исходной заготовки, который составил 180 мм. Разработанный технологический процесс изготовления поковки позволил обеспечить коэффициент использования материала равный 0,88.

Операции объемной штамповки можно разделить на предварительное формоизменение и окончательное формоизменение при котором поковка приобретает форму и размеры готового изделия. Предварительные операции используют для распределения металла в заготовке, для придания ей нужной конфигурации. При дальнейшем формоизменении такая заготовка будет штампovаться с меньшими усилиями, и будет обеспечиваться заполнение сложных участков ручья штампа. При разработке технологического процесса изготовления турбинной лопатки были определены силы деформирования по переходам штамповки. Этапы переходов штамповки представлены в таблице 3.

Таблица 3. Этапы переходов штамповки

Этапы обработки	Оборудование
Предварительное перераспределение металла	РКМ
Окончательное формообразование	Молот
Вспомогательная обработка	КГШП

В рассматриваемом технологическом процессе изготовления поковки направляющей лопатки нагрев заготовок перед операциями штамповки производится в РКМ, следовательно, не потребуется дополнительное оборудование (методическая печь). Однако, любой нагрев, вне зависимости от оборудования при помощи которого он осуществляется, включает в себя три этапа: первый этап - возникновение температурных напряжений; второй этап - форсированный нагрев, когда металл перешел в пластичное состояние; третий этап - выдержка, то есть выравнивание температур по сечению заготовки. Полученные значения продолжительности этапов нагрева представлены в таблице 4.

Таблица 4. Продолжительности этапов нагрева

Этапы нагрева	Продолжительность, мин
Первый этап	81
Второй этап	81
Третий этап	40,5
Общее время	202,8

После проведения основных штамповочных операций проводится термическая обработка с целью формирования требуемых механических свойств изделия, устранения остаточных напряжений, восстановление пластических свойств материала после штамповки. Режим закалки: нагрев 980-1000°C; выдержка: 55 минут; охлаждение: в масле.

Режим отпуска: нагрев 680-720°C; выдержка: 1 час 20 минут; охлаждение: в масле.

Сложность термической обработки данного изделия заключается в разнице площадей поперечных сечений в 1,7 раз. Потому при применении стандартных режимов термообработки неизбежно возникновение дефектов, таких как коробление. Вследствие этого следует проводить термическую обработку в штампе с большим количеством отверстий для проникновения закалочных сред к изделию. В таких условиях лопатка будет достаточно жестко зафиксирована, что позволит избежать коробления, а термическая обработка будет осуществлена в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Выходы:

1. Разработан технологический процесс изготовления турбинной лопатки, позволивший обеспечить коэффициент использования материала 0,88;
2. Проведен анализ существующих вариантов оборудования для производства штампованных заготовок, выбран оптимальный вариант для изготовления изделия;
3. Произведен выбор режимов термообработки обеспечивающий требуемый уровень механических свойств.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Семёнов Е.И. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./ Колл. авторов. Под ред. Семёнова Е.И. Том 2. Горячая штамповка – М.: Изд-во «Машиностроение», 1986, 592 с.
2. Сторожев М.В. Ковка и объёмная штамповка стали: Справочник. В 2-х т./ Колл. Авторов. Под ред. Сторожева М.В. Том 2 – М.: Изд-во «Машиностроение», 1968, 2-е изд., 448 с.
3. Сосенушкин Е.Н. Прогрессивные процессы объемной штамповки. М.: Машиностроение, 2011.– 480 с.

СТРУКТУРА АЛИТИРОВАННОГО СЛОЯ ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ СУЛЬФИДНОЙ КОРРОЗИИ

Введение. Эксплуатация морских газотурбинных двигателей (ГТД) имеет ряд особенностей. По сравнению с авиационными ГТД, температура в горячем тракте ниже, однако, топливо морских ГТД более загрязнено примесями, в особенности серой, морская же среда насыщена ионами хлора, что приводит к повышению коррозионного воздействия на лопатки турбин [1]. По этой причине необходимо проведение защитных мероприятий по предотвращению высокотемпературных окисления и сульфидно-хлоридной коррозии для жаропрочных никелевых сплавов, такого как СЛЖС5-ВИ, предназначенного для применения в морских ГТД и установках [2].

Цель работы – исследование структуры термодиффузационного алитированного слоя жаропрочного никелевого сплава морского назначения СЛЖС5-ВИ и оценка его влияния на сопротивление солевой коррозии.

Материалы и оборудование исследования. Для проведения коррозионных испытаний и последующего исследования микроструктуры алитированного слоя, были изготовлены 4 цилиндрических образца Ø7x35 мм. Два образца были подвергнуты термодиффузционному алитированию в контейнере со смесью 90% ферроалюминия, 9% йодистого аммония и 1% глинозема. Алитирование проводилось в течении 2 часов с выдержкой при 900 °C.

Для сравнения скорости коррозии был выбран весовой метод: образцы из сплава СЛЖС5-ВИ без слоя и подвергнутых термодиффузационному алитированию выдерживались в муфельной печи в расплаве солей 75% Na_2SO_4 + 25% NaCl в течение 24 ч при температурах 800 и 900 °C.

Исследование поверхностного слоя образцов, поврежденных коррозией, было проведено при помощи растрового электронного микроскопа TescanVegaII с проведением рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) по глубине слоя.

Результаты. По результатам сравнительных испытаний был построен график зависимости скорости коррозии от температуры в солевом расплаве (рисунок 1). Скорость коррозии оценивалась весовым методом.

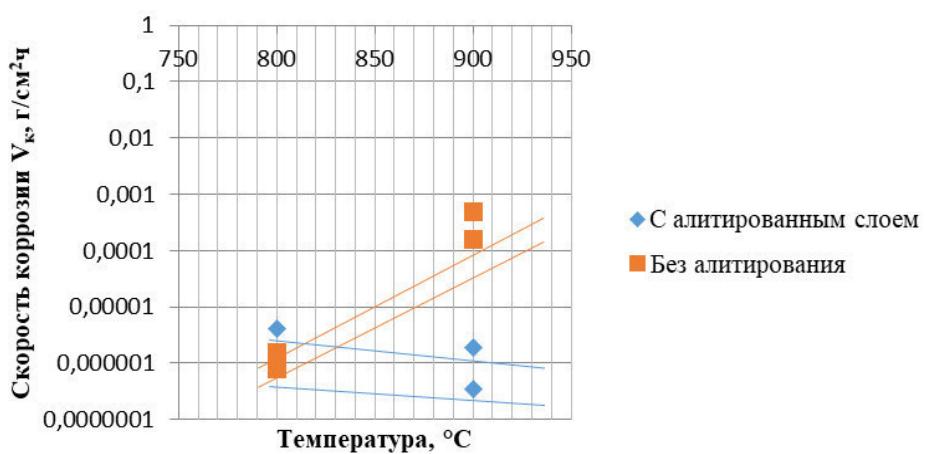


Рисунок 1. Скорости коррозии образцов сплава СЛЖС5-ВИ с алитированным слоем и без слоя

Как видно из полученных данных, коррозионная стойкость сплава с алитированным слоем при 800 °C оказалась для сплава с защитным слоем соизмерима со сплавом без слоя, тогда как при рабочей температуре 900°C алитированный слой обеспечил увеличение коррозионной стойкости на 2 порядка.

Образцы после испытаний были подвергнуты РСМА.

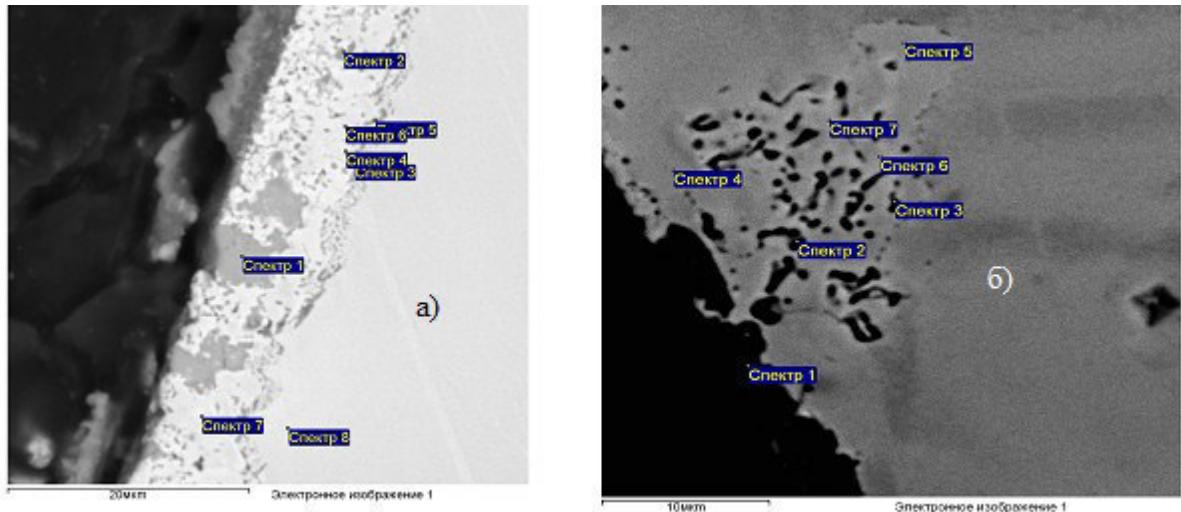


Рисунок 2. Результаты РСМА сплава СЛЖС5-ВИ без алитирования
после испытаний на солевую коррозию
а) при температуре 800 °C; б) при температуре 900 °C

На поверхности образцов без алитированного слоя при 800°C (рисунок 2, а) наружный слой образован оксидами Ni, Cr, Ti и Al. В него также входят шпинели. В наружном слое соединения серы не обнаружены.

Внутренний подслой продуктов коррозии представляет собой Ni_3S_2 , Co_4S_3 , AlS и другие сульфиды.

Зона коррозионного повреждения присутствует вдоль всей наружной поверхности и представляет собой слой металла, обедненный Al, Ti и Cr (спектры 4, 6, 7). На границе слоя коррозионных повреждений обнаружены очаги сульфидизации (спектры 3, 5).

При 900°C (рисунок 2, б) внимание было уделено коррозионному очагу. На исследованном участке (Спектр 1) слой продуктов коррозии представляет собой оксиды, в частности оксид хрома. В этом слое также обнаружены компоненты солевого расплава, отсутствуют W и Re.

Состав металла в зоне очага коррозионного повреждения свидетельствует о сильном обеднении металла легирующими элементами, имеющими повышенное сродство к кислороду. В режиме контраста атомного номера разлегированные участки выглядят более светлыми за счет увеличения среднего атомного номера металлической матрицы при выходе из нее в оксид алюминия, титана и хрома.

При исследовании образцов с алитированным слоем (рисунок 3 а, б) было обнаружено, что его глубина составила около 30 мкм. В поверхностном алитированном слое обнаружены микропоры и микротрещины. Слой содержит интерметаллиды Ni_3Al и Ni_2Al_3 , а также оксиды Al_2O_3 и шпинель $\text{NiO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$. В плотном подповерхностном слое, определяющем высокие свойства диффузионного алитированного слоя, имеются интерметалидные фазы Ni_3Al и NiAl , находящиеся в твердом растворе.

Содержание алюминия резко понижается с 23-30% до 3%, что характеризует начало появления гетерофазной зоны (вторичной реакционной зоны). Во внутреннем слое

обнаружены электронные соединения, ориентированные нормально к поверхности раздела, снижающие эффект алитирования. Для получения стабильного диффузионного слоя целесообразно создать барьерный слой [3]. В дальнейшем будет проведена работа по проведению насыщения поверхности углеродом (цементации) и тугоплавкими элементами.

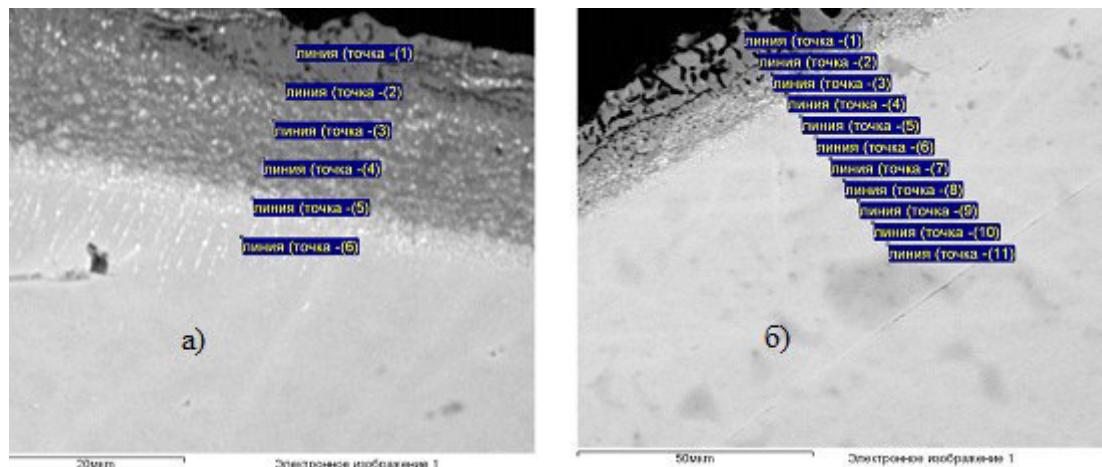


Рисунок3. Результаты РСМА сплава СЛЖС5-ВИ с алитированием
после испытаний на солевую коррозию
а) при температуре 800 °C; б) при температуре 900 °C

Вывод. 1) В результате сравнительного исследования на общую коррозию монокристаллических образцов СЛЖС5-ВИ с алитированным диффузионным слоем, соответствующим ~30 мкм, и без слоя, установлено, что коррозионная стойкость сплава СЛЖС5-ВИ с алитированным диффузионным слоем при температуре 800 °C соизмерима коррозионной стойкости сплава СЛЖС5-ВИ без слоя. В тоже время при 900 °C, соответствующей температуре эксплуатации, коррозионная стойкость сплава СЛЖС5-ВИ с алитированным слоем оказалась на 2 порядка выше, чем без слоя.

2) При температуре 800°C наиболее интенсивно происходит сульфидная коррозия, а при 900°C – оксидная коррозия. При реализации обоих механизмов коррозии наибольшее обеднение по легирующим элементам сплаве отмечается у Al, Cr и Ti, причем алитирование замедляет уход данных элементов в продукты коррозии.

3) Высокая коррозионная стойкость сплава СЛЖС5-ВИ, обеспечиваемая процессом термодиффузионного алитирования, связана с образованием NiAl во внутренней зоне внешнего слоя.

4) Термодиффузионное алитирование является перспективным методом защиты лопаток газотурбинных двигателей из жаропрочного никелевого сплава СЛЖС5-ВИ, работающих в агрессивной среде при сжигании углеводородного топлива, насыщенного ионами серы и хлора.

Экспериментальные исследования выполнены на оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием «Состав, структура и свойства конструкционных и функциональных материалов» НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Абрамов Н.В. Гейкин В.А. Температуроустойчивые покрытия и сварка в газотурбинных двигателях [Текст]. – М.: Наука и технологии. 2018. – 464 с.
2. Данилов Д.В. Разработка высоконагруженного никелевого сплава с повышенной коррозионной стойкостью в условиях воздействия морской солевой среды для монокристаллических лопаток [Текст] / канд. дисс. – Рыбинск 2015. РГАТУ. 2015. – 152 с.

3. Мубояджян С.А. Термодиффузионные процессы насыщения поверхности жаропрочных сплавов тугоплавкими элементами и углеродом [Текст] / С.А. Мубояджян, А.Г. Галоян // Технология легких сплавов – 2007. – № 2. – С.114-120.

УДК 621.78

В.С. Петрович, Д.А. Левин, И.П. Грибанов, М.В. Новоселов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СТРУЙНАЯ ОБРАБОТКА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Введение. В современном машиностроении полирование криволинейных поверхностей представляет определенную трудность. Еще большую трудность представляет обработка внутренних поверхностей, особенно при соотношении глубины отверстия L к его диаметру D равному $D \leq 3L$. Это существенно затрудняет обработку изделий, так как связано с малым размером инструмента, криволинейной поверхностью, а для электрофизических и электрохимических методов с малой напряженностью электромагнитного поля в полости отверстия [1]. Среди современных развивающихся технологий, относящихся к электрофизическому и электрохимическому методам отдельную нишу занимают электролитно-плазменные технологии в электролитической ванне [2, 3], так и за счет обработки электролитической струей [4]. Данные технологии позволяют удалять коррозию, а также полировать поверхность, а в отдельных случаях проводить размерную обработку [5-7]. Среди данных методов технология обработки электролитической струей характеризуется более высокой точностью обработки, низким уровнем температур и локальной зоной обработкой [8, 9]. Однако недостаточно исследований, посвященных обработке внутренних цилиндрических поверхностей, в частности внутренних. Поэтому целью работы является изучение технологической возможности обработки внутренней цилиндрической поверхности струей сформированной электролитной плазмой. Это исследование может помочь повысить эффективность производственного процесса. В частности, снизить человеческий фактор при обработке деталей, также понизить стоимость получаемой детали, при этом увеличить серийность. Однако, сначала необходимо детально изучить зависимость угла наклона и величину силы тока, а также выявить зависимость между температурой и силой тока.

Оборудование и материалы. В качестве оборудования использовалась установка, предложенная в работе [10], состоящая из емкости для электролита, клапана регулирующего подачу электролита обрабатываемого контура из нержавеющей стали 08Х18Н9Т, медной трубы, подающей электролит, из которой идет подача электролита, емкости, в которую стекает электролит, вольтметра, амперметра (рисунок 1). Для электролита был выбран раствор аммония сернокислого $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ – 10 г и аммония лимоннокислого $((\text{NH}_4)_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)$ – 8 г в водопроводной воде.

Электролит подается струей по трубке диаметром 3 мм со скоростью потока 3-8,13 л/ч. В это время подается напряжение на контур из нержавеющей стали равное 180-240 В.

Анализ возможного применения. Применяя данный метод, упрощается процесс обработки, удаления дефектов и ликвидируются последствия влияния окружающей среды. Например, обработка внутренней поверхности труб, не извлекая ее из рабочей среды. В данный момент такое невозможно, поэтому ремонт труб является долгим и дорогостоящим процессом. Также, данная технология позволяет обрабатывать внутренние поверхности шестерней. Этот метод намного экономичнее и позволяет добиться высокого качества обрабатываемых изделий. Струйная электролитно-плазменная обработка внутренних цилиндрических поверхностей – это технология будущего, с помощью которой можно

обрабатывать труднодоступные поверхности, а также поверхности, которые невозможно обработать механическим способом.

Применение электролитно-плазменного полирования высоколегированных сталей позволит снизить долю механической обработки поскольку не оставляет острых кромок, а скругляет и притупляет имеющиеся кромки, позволяя отказаться от слесарных операций. Метод струйной обработки является более экологически чистым и имеет более высокую точность обработки обрабатываемых поверхностей (по сравнению с методом погружения в ванну) за счет возможности программирования перемещения области электролитной плазмы по поверхности изделия. К недостаткам технологии можно отнести среднюю производительность, которую можно увеличивать за счет скорости перемещения трубы, подающей электролит, или создания группы токоподводов. Устройство установки показано на рисунке 1.



Рисунок 1. Устройство установки: 1 – емкость для электролита; 2 – клапан, регулирующий подачу электролита; 3 – обрабатываемый контур из нержавеющей стали; 4 – трубка, из подачи электролита; 5 – емкость, в которую стекает электролит; 6 – вольтметр; 7 – амперметр

Результаты экспериментов. При подаче напряжение на контур от 180-240 В возникает сила тока, максимально равная 4 А. При таких условиях, не вооруженным глазом фиксируется изменения на происходящие на поверхности материала (появление матовости). Нами было исследованы следующие зависимости, угла наклона от величины силы тока электролитно – плазменного разряда, силы тока от температуры электролита, угла наклона трубы подачи электролита от скорости потока электролита. Результаты исследований представлены в виде зависимостей (рисунок 2.).

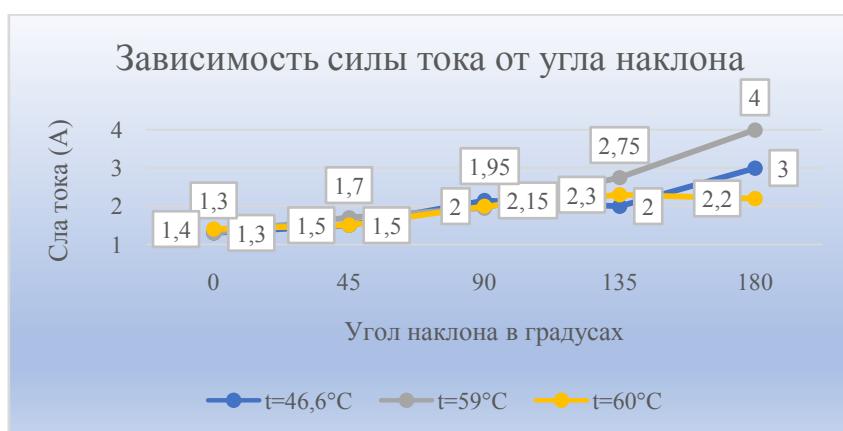


Рисунок 2. Зависимость силы тока от угла наклона

Опыты показали, что при приближении угла наклона трубы, через которую идет подача электролита, к верхней точке окружности, то сила тока значительно возрастает. Видимый эффект обработки (изменение цвета обрабатываемой поверхности) достигался, при отношении $I>1.5A$. По результатам опытов был замечен эффект нагрева электролита. Также в ходе проведения исследований, геометрическая форма потока струи электролита изменялась от прямой до конусообразной.

Выводы.

1. Получены зависимости угла наклона от величины силы тока электролитно-плазменного разряда, силы тока от температуры электролита, угла наклона трубы подачи электролита от скорости потока электролита.
2. Зафиксировано что изменение угла наклона трубы, подающей электролит, позволяет обрабатывать поверхность при различных условиях.
3. Результаты исследований возможно использовать для разработки технологии обработки внутренней поверхности труб, наружных внутренних цилиндрических поверхностей турбинных лопаток кардиохирургических стентов, блисков, моноколес.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гайсин Ф.М., Сон Э.Е. Электрические разряды в парогазовой среде с нетрадиционными электродами// Энциклопедия низкотемпературной плазмы/ Под ред. Фортова В.Е. М.: Наука, 2000. С. 241.
2. Новиков В.И., Попов А.И., Тюхтяев М.И., Зейдан М.Н. Возможности электролитно-плазменного полирования при обработке деталей с различным начальным уровнем шероховатости поверхности// Металлообработка. 2001. 1(61). С13.
3. Danilov I., Hackert-Oschätzchen M., Zinecker M., Meichsner G., Edelmann J. and Schubert A. Process Understanding of Plasma Electrolytic Polishing through Multiphysics Simulation and Inline Metrology// Micromachines. 2019. 10(3). P. 214
4. Галимзянов И.И., Гайсин Ал.Ф., Фахрутдинова И.Т., Шакирова Э.Ф., Ахатов М.Ф., Каюмов Р.Р.// Некоторые особенности развития электрического разряда между струйным анодом и жидким катодом ТВТ. 2018. Т.56. №2. С306.
5. Попов А.И.; Радкевич М.М.; Новоселов М.В. Особенности электролитно-плазменного полирования стентов// Технология металлов. 2019. №5. С.18.
6. М.В. Новоселов, Н.Г. Шиллинг, А.А. Рудавин, М.М. Радкевич, А.И. Попов Оценка возможности полирования Нержавеющих сталей струйной электролитно-плазменной обработкой. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2018. Т. 20. №1. С. 94-102.
7. Попов А.И., Радкевич М.М., Медко В.С., Новоселов М.В. Устройство для электролитно-плазменной обработки металлических изделий// Патент на изобретение RUS 2681239 13.06.2018
8. Popov A.I., Novikov V.I., Radkevich M.M. Characteristics of the Development of Electric Discharge between the Jet Electrolyte Cathode and the Metal Anode at Atmospheric Pressure// High temperature. 2019.-Vol. 57. No. 4. P. 483-495.
9. Попов А.И., Тюхтяев М.И., Радкевич М.М., Новиков В.И. Анализ тепловых явлений при струйной фокусированной электролитно-плазменной обработке// Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2016. - № 4 (254). С. 141.
10. Попов А.И., Радкевич М.М., Кудрявцев В.Н., Захаров С.В., Кузьмичев И.С. Установка для электролитно-плазменной обработки турбинных лопаток. Патент на изобретение РФ № 2623555. Кл. МПК: C25F7/00. 27.06.2017

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БЛОКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ВЫБИВКИ СТЕРЖНЕЙ

Электрогидроимпульсная (ЭГИ) очистка отливок позволяет удалять высокопрочные стержни с размерами до 2 мм из узких разветвленных каналов отливок [1]. Внедрение технологических процессов ЭГИ очистки отливок зависит от условий производства и конструктивных особенностей заготовок, например, для лопаток турбин авиационных двигателей характерно резкое изменение толщины металла. Обработка таких изделий производится на опытных установках, имеющих низкую производительность из-за отсутствия средств механизации при наладке и выполнении технологического процесса. Применение промышленных установок [2, 3] с высоким уровнем механизации и автоматизации наиболее оправданно в условиях крупносерийного и массового производства.

Целью данной работы является разработка пневмогидропривода для уменьшения длительности подготовительного цикла и внесение изменений в конструкцию технологического блока электрогидроимпульсной установки [4] для выбивки стержней из отливок типа турбинных лопаток.

При разработке технологического блока установки для электрогидроимпульсной выбивки высокопрочных стержней предполагалось, что схема обработки по стержню реализуется при соосности положительного электрода с внутренним каналом отливки. При этом отливка жестко закрепляется в приспособлении, имеющем возможность вертикального перемещения при наладке технологического процесса. Обработка по площади может проводиться лишь при разряде на наиболее прочную часть отливки или на дополнительную технологическую деталь, служащую вторым (отрицательным) электродом.

Схема технологического блока для электрогидроимпульсной выбивки стержней представлена на рисунке 1. На основании 1 находится гидроцилиндр 2 с поршнем. На подвижной траверсе 3 установлена разрядная камера 4 с приспособлением 5 для закрепления отливок 6. В верхней неподвижной плите 7 установлена электродная система 8, состоящая из положительного электрода (металлический стержень) и изоляции. Там же выполнено отверстие 9, предназначенное для заполнения разрядной камеры водой. В подвижной траверсе выполнено отверстие 10 для слива воды из разрядной камеры.

Гидропневмооборудование ЭГИ установки включает в себя элементы пневматической, масляной и водной систем. Пневмосистема предназначена для управления исполнительным приводом установки и вентиляции искрового разрядника. Выбор пневматического привода обусловлен высокой надежностью его работы независимо от условий эксплуатации (внешние динамические нагрузки, электромагнитные поля, влажная среда и т.д.) и низкой стоимостью комплектующих элементов [5]. Масляная система предназначена для подъема траверсы с рабочей емкостью и создания усилия смыкания разрядной камеры с верхней плитой технологического блока. Вода служит для воздействия на обрабатываемый объект (отливку) при создании в ней высоковольтного электрического разряда.

Питание пневматических устройств осуществляется от воздушной системы высокого давления при открытом вентиле 11. Воздух поступает через фильтр-влагоотделитель 12 к регулятору давления 13, предназначенному для настройки и поддержания постоянного давления в системе управления. Манометр 14 служит для контроля давления воздуха, поступающего через дроссель 15, обратный клапан 16 и распределитель 17 с электромагнитным управлением в пневмогидравлический преобразователь давления

(многократный) 18. В вентиляционную систему искрового разрядника воздух поступает через нагреватель 19, распределитель 20 и регулятор потока 21.

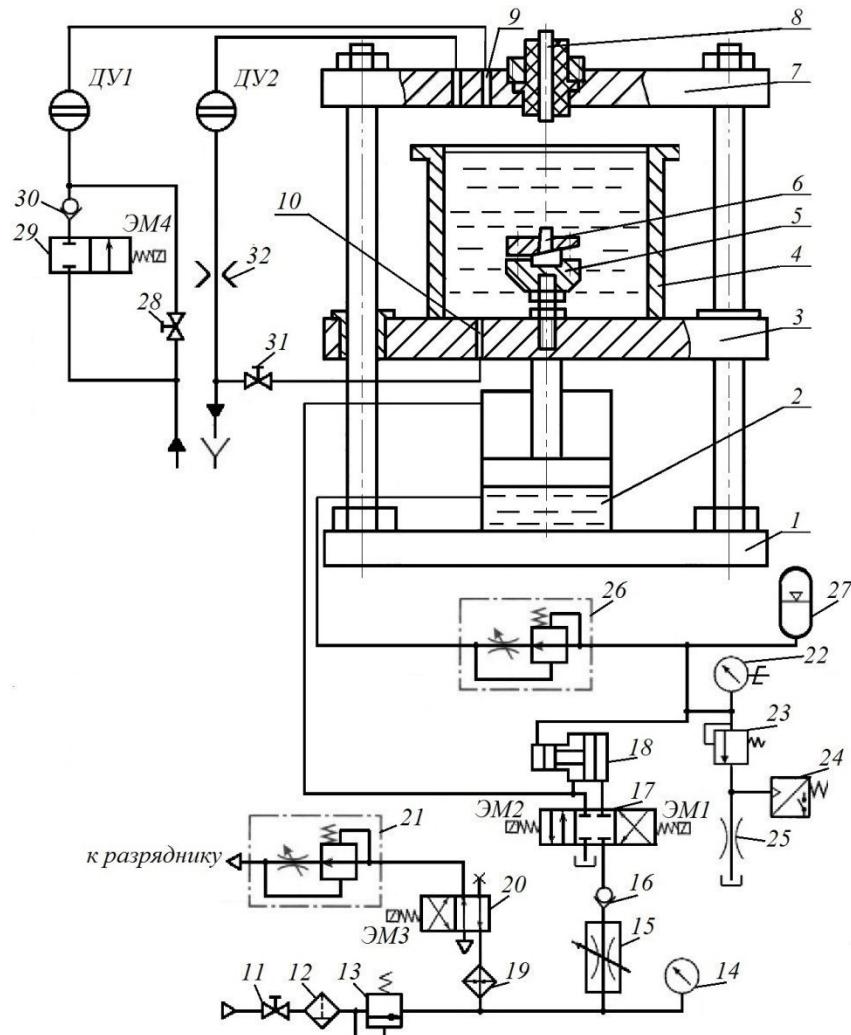


Рисунок 1. Схемы технологического блока и гидропневмооборудования электрогидроимпульсной установки для выбивки стержней

В составе исполнительного привода кроме пневмогидравлического преобразователя давления 18 имеется манометр 22, предохранительный клапан 23, реле давления 24 с дросселем 25, регулятор потока 26 и пневмогидравлический аккумулятор 27, который служит для гашения колебаний в масляной системе при ЭГИ обработке очищаемых отливок. Кроме того, аккумулятор создает в рабочей области гидроцилиндра 2 подпор при отключенном распределителе 17, не давая траверсе опускаться самопроизвольно.

Подъем траверсы осуществляется при срабатывании электромагнита ЭМ2 распределителя 17. При достижении разрядной камерой верхней плиты технологического блока давление в гидросистеме повышается до 2 МПа – величины настройки предохранительного клапана 23. При этом замыкаются контакты электроконтактного манометра 22, подающие сигнал на отключение распределителя 17. При увеличении давления в напорной линии сверх давления настройки предохранительного клапана 23 масло сливаются в бак через дроссель 25, обеспечивающий в сливной линии подпор, достаточный для срабатывания реле давления (РД) 24.

Скорость подъема траверсы задается регулятором расхода с изменяемым расходом на выходе 26. Опускание траверсы вниз происходит при переключении распределителя 17 при срабатывании электромагнита ЭМ1. Воздух при этом поступает в штоковую полость аккумулятора 18 и верхнюю полость гидроцилиндра 2 технологического блока.

Заполнение водой рабочей емкости происходит из водопроводной сети при открытии вентиля 28 вручную или автоматически через вентиль 29 с электромагнитным управлением и обратный клапан 30. Из разрядной камеры вода сливаются при открытом вентиле 31. В трубопроводе установлены датчики уровня ДУ1 и ДУ2, сигнализирующие о начале и моменте заполнения разрядной камеры.

После наполнения камеры водой производится необходимое количество высоковольтных разрядов для выбивки стержневой массы. Для уменьшения скорости потока воды в рабочей камере во время работы установки в выходном трубопроводе предусмотрено местное сопротивление 32.

Выводы. В результате разработки проведены конструктивные изменения технологического блока с электродной системой, которые позволяют осуществлять импульсное воздействие по двум схемам обработки отливок: по знаку стержня и по площади. Выбор оптимальной схемы обработки повысит эффективность процесса электрогидроимпульсной очистки отливок и выбивки из них высокопрочных стержней. Оснащение гидропневмооборудованием ЭГИ установки обеспечит существенное снижение трудоемкости и длительности подготовительных работ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мериин Б.В. Электрогидравлическая обработка машиностроительных изделий. – Л. : Машиностроение, 1985. – 118 с.
2. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. / Под ред. Гулого Г.А. – М. : Машиностроение, 1977. – 320 с.
3. Л.А. Юткин. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986.— 253 с.
4. Шаповал А.В. Разработка технологической оснастки для электрогидроимпульсной выбивки стержней / А.В. Шаповал, Н.В. Третьякова, В.С. Медко // XXXVII неделя науки СПбГПУ : Материалы Всероссийской межвузовской научной конференции студентов и аспирантов. Ч. IV. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – с. 102-103.
5. Приводы автоматизированного оборудования. / О.И. Трифонов, В.И. Иванов, Г.О. Трифонова. – М.: Машиностроение, 1991. – 336 с.

УДК 621.983.044

А.А. Курятников, В.С. Мамутов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНО-ЭЛАСТОИМПУЛЬСНОЙ ФОРМОВКИ МЕМБРАН ИЗ ФОЛЬГИ

Введение. Формовка мембран из фольги толщиной 0.05 мм и менее представляется достаточно сложной задачей для обработки металлов давлением (ОМД). При изготовлении таких деталей возникают проблемы с пружинением заготовки, заусенцами при вырубке наружного контура. Поэтому часто от методов ОМД отказываются и применяют более дорогостоящие способы изготовления типа вакуумного напыления. При этом механические характеристики получаемых деталей уступают характеристикам, деталей, полученных штамповкой.

Метод магнитно-эластоимпульсной штамповки (МЭИШ) в котором комбинируется магнитно-импульсная обработка и штамповка эластичной средой, разработанный на кафедре МиТОМД представляется одним из эффективных методов изготовления мембран из фольги [1, 2]. Однако и на сегодняшний день задача определения точных технологических параметров МЭИШ требует трудоемких численных расчетов. Для импульсных процессов наиболее подходящим конечно-элементным комплексом является LS-DYNA [3], который имеет эффективный явный решатель.

Целью данной работы являлась разработка компьютерной модели деформирования мембранных и отделения отхода при МЭИШ и исследование этих процессов на основе результатов компьютерного моделирования.

Рассматривался процесс изготовление детали из фольги толщиной 0.05 мм материала 12Х18Н10Т. Данные исследования являются продолжением работ [1, 2]. Расчетная схема технологического устройства для изготовления мембран методом МЭИШ представлена на рисунке 1.

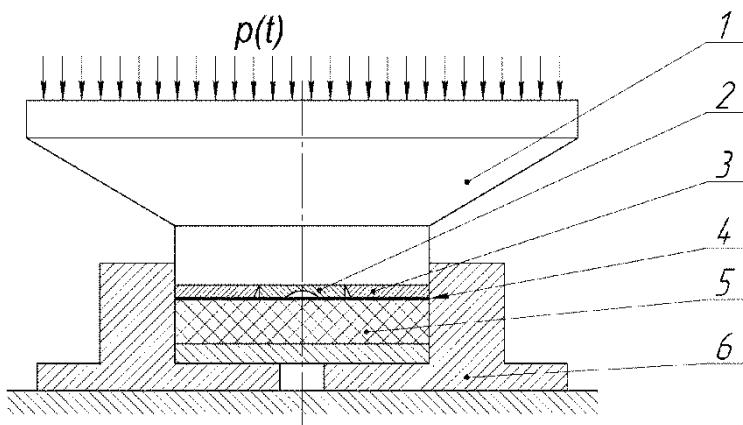


Рисунок 1. Расчетная схема технологического устройства для изготовления мембран методом МЭИШ: 1 – подвижный элемент, 2 – матрица, 3 – обойма, 4 – заготовка из фольги, 5 – полиуретан, 6 – контейнер

За счет импульсного давления $p(t)$ магнитного поля плоского спирального индуктора (не показан) происходит импульсное перемещение подвижного элемента 1 вместе с матричным блоком 2, 3. За счет возникшего давления в полиуретане 5, заключенном в контейнер 6, происходит формовка заготовки 4 по рельефу матрицы 2 и вырубка наружного контура. На рисунке 2 показаны элементы матричного блока, заготовка, отход и деталь. Обычно матрицу 2 и обойму 1 изготавливают из одного куска плиты электроэррозионным методом.

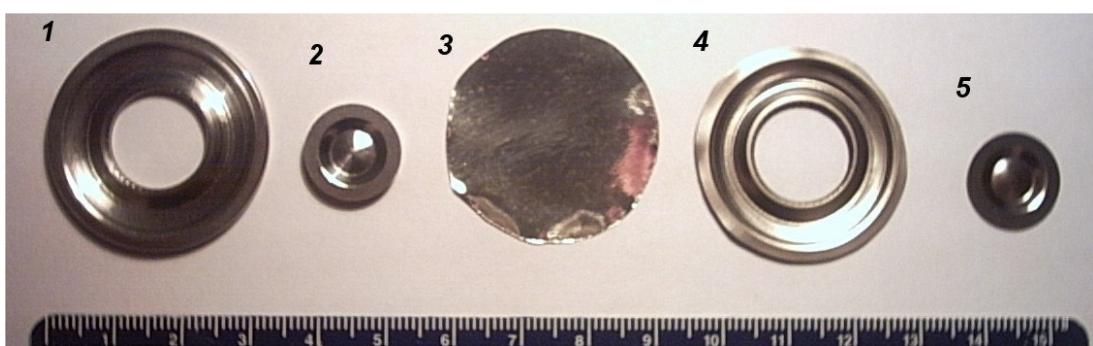


Рисунок 2. Элементы матричного блока (1, 2), заготовка 3, отход 4 и деталь 5

Малая толщина материала практически не позволяет экспериментально исследовать процесс разрушения заготовки, который определяет качество среза. Сложностью расчетов является одновременная формовка рельефа матрицы, формоизменение заготовки вблизи режущей кромки и ее последующее разрушение. Оба процесса влияют друг на друга за счет сдвига материала в одну или другую сторону. Одной из важных задач является корректная КЭ разбивка заготовки, позволяющая учесть данные эффекты моделируемого процесса (рисунок 3).

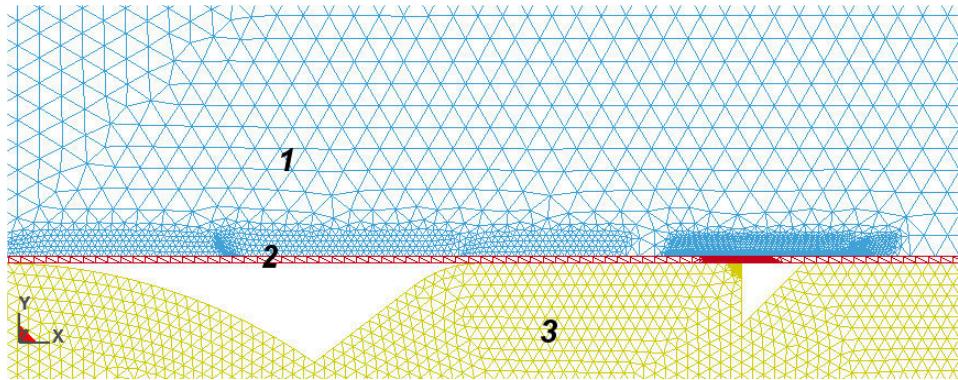


Рисунок 3. Конечно-элементная разбивка полиуретана (1) заготовки (2) и матрицы (3)

При расчете параметры давления $p(t)$ магнитного поля индуктора задавались на основе экспериментальных измерений, соответствующих физическому эксперименту. Применялась модель идеальной сжимаемой жидкости «*Elastic Fluid*». При этом задавался динамический модуль объемного сжатия полиуретана $K_d = 2.35 \cdot 10^9$ Па. При разделительных операциях в случае вырубки-пробивки особо тонколистовых металлов радиус кривизны линии реза обычно значительно превышает толщину заготовки, и деформацией в направлении касательной к периметру линии реза можно пренебречь. Поэтому в качестве критерия разрушения использовалась критическая величина первой главной деформации, которая может быть приближенно определена из диаграммы предельных деформаций (FLD). Для материала заготовки использована модель «*Modified Piecewise Linear Plasticity*», позволяющая прогнозировать разрушение в виде нарушения сплошности материала. Упрочнение материала заготовки задавалось по линейному закону. Материал инструмента (пуансон, матрица и прижим) задавался упругим – «*Linear Isotropic*» с упругими константами стали. Коэффициент кулоновского трения задавался значениями: статический $\mu = 0.2$ и динамический $\mu = 0.15$. Для контакта задавалась опция «*2D Automatic Single Surface*». Примеры результатов расчета представлены на рисунке 4.

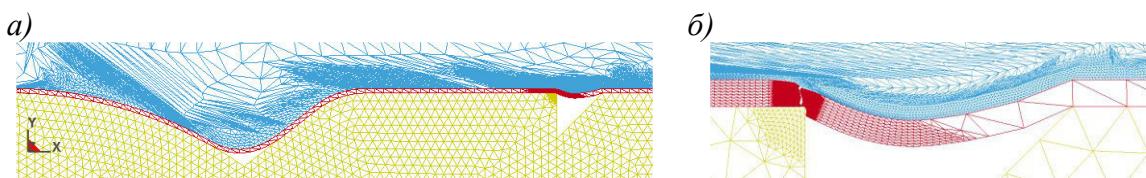


Рисунок 4. Этапы формоизменения заготовки по контуру и вблизи кромки разделения (а) и разрушения заготовки на кромке разделения (б)

Видно, что сначала заполняется основной рельеф матрицы, а наличие обоймы препятствует деформированию заготовки вблизи режущей кромки матрицы до момента полного заполнения рельефа матрицы. Разрушение на кромке разделения тоже носит

достаточно сложный характер. Сначала возникает трещина на верхней части заготовки. Затем возникает трещина на части заготовки, контактирующей с режущей кромкой матрицы. Потом трещины сверху и снизу сходятся друг к другу, и дальше происходит отделение отхода. Изменяя геометрию и размеры обоймы 3 (рисунок 1), можно влиять на характер разделения металла и прогнозировать точность диаметра на кромке разделения.

Выводы. В конечно-элементном комплексе LS-DYNA разработана компьютерная модель деформирования мембраны и отделения отхода при магнитно-эластоимпульсной штамповке мембранны из фольги толщиной 0.05 мм из стали 12Х18Н10Т. Показаны возможности данной модели по прогнозированию формоизменения заготовки и разделения на режущей кромке матрицы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Штамповка полиуретаном мембран из особо тонколистовых металлов// В.С. Мамутов, А.В. Мамутов, В.В. Блажевич, А.А. Курятников. Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 8-й Международной научно-практической конференции / Под ред. А.Н. Евграфова и А.А. Поповича.– СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – С.685-695.
2. Магнитно-эластоимпульсная штамповка мембран из особо тонколистовых металлов и фольги // А.А. Курятников, В.С. Мамутов. Материалы научной конференции с международным участием Неделя Науки СПбПУ 2018, С 264-267
3. J.O. Hallquist, LS-DYNA theoretical manual. Livermore Software Technology Corporation: Livermore, CA, 498 p. (2006)

УДК 621.983

И.И. Мельников, И.Э. Ананьев, В.С. Мамутов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМОВКИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ПОЛИУРЕТАНОМ

Введение. В условиях современного мелкосерийного эффективны технологические процессы, обеспечивающие высокое качество и низкую себестоимость деталей при сжатых сроках подготовки производства. Для большого класса осесимметричных тонкостенных деталей типа мембран наиболее целесообразно их изготовление при помощи полиуретанов, используемых в качестве эластичной матрицы или пуансона [1]. Однако часто на практике эффективность подобных технологий низка и не оптимальна, что в значительной степени связано с отсутствием научно обоснованных методик проектирования: может происходить разрушение или складкообразование заготовки, может не хватить усилия оборудования для штамповки. Разработка методик проектирования связана с расчетом параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) заготовки, определения давления формоизменения полиуретана [2]. В общем случае подразумевается решение нелинейных краевых задач механики деформирования оболочек, моделирующих заготовку, а также задач, моделирующих поведение полиуретана и других элементов технологической оснастки. С развитием компьютерной техники и программного обеспечения в конце 80-х годов прошлого века это может быть выполнено при помощи разработанных в то время конечно-элементных (КЭ) комплексов, например, LS-DYNA [3]. Однако в настоящее время вопросы компьютерного моделирования штамповки полиуретаном недостаточно разработаны.

Целью данной работы являлась разработка компьютерной модели формовки листового металла полиуретаном на примере осесимметричной детали с гофрами из латуни Л68 с использованием КЭ комплекса LS-DYNA.

Геометрическая модель. Модель матрицы, определяющая форму детали и начальный диаметр заготовки (110 мм), представлена на рисунке 1. Данная деталь – типовая для формовки полиуретаном.

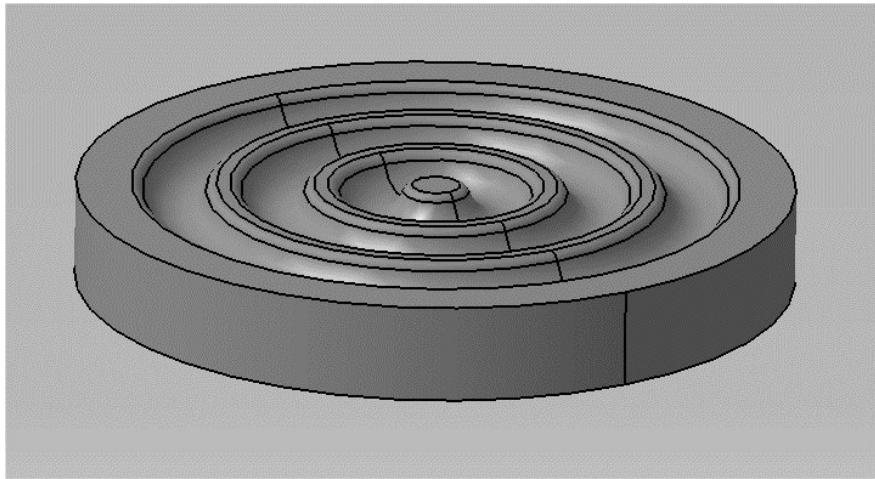


Рисунок 1. Геометрическая модель матрицы

Компьютерная модель полиуретана. В качестве модели материала полиуретана выбрана типа Mooney–Rivlin (MAT_027) [3]. Параметры модели определяются функцией плотности энергии деформации:

$$W = A(I_1 - 3) + B(I_2 - 3) + C(I_3^2 - 1) + D(I_3 - 1)^2,$$

где

$$C = 0.5A + B,$$

$$D = \frac{A(5\nu - 2) + B(I_2\nu - 5)}{2(I_1 - 2\nu)}.$$

В данных соотношениях: ν – коэффициент Пуассона, $2(A+B)$ – модуль сдвига, I_1 , I_2 , I_3 – инварианты правого тензора Коши–Грина.

Рекомендуемая величина коэффициента Пуассона: $\nu \in [0.49, 0.5]$. При меньших значениях модель не работает, что предполагает практически несжимаемый материал. При расчете задавалась величина $\nu = 0.495$. Полиуретан имеет модуль объемного сжатия порядка $(0.2 \dots 0.35) \cdot 10^4$ МПа в зависимости от твердости по Шору. С учетом, что давление штамповки может достигать 10 МПа и больше, предположение о не сжимаемости полиуретана может дать значительную погрешность расчетов.

Для полиуретана с твердостью по Шору 65...80 единиц величины констант задавались: $A = 190$ psi, $B = 95.9$ psi [4] с последующим переводом в систему СИ (1 [МПа] = 145.03773773 [psi]). Плотность задавалась равной $\rho = 2300$ кг/м³.

Компьютерная модель заготовки. Расчет велся в осесимметричной постановке. Тип элемента выбирался 2DSolid 162. Применялась модель материала PowerLaw. Расчет осуществлялся для латуни Л68 толщиной $h_0 = 1$ мм в предположении изотропности материала и степенного закона деформационного упрочнения (по типу Holloman) с параметрами: $B = 740$ МПа, $m = 0.45$. Упругие константы материала задавались: $E = 1.15 \cdot 10^{11}$ Па – модуль Юнга, $\nu = 0.35$ – коэффициент Пуассона. Плотность материала задавалась равной $\rho = 8300$ кг/м³.

Коэффициент кулоновского трения задавался равным $\mu = 0.2$ для состояния покоя и $\mu = 0.1$ при движении.

Компьютерные модели материалов матрицы, контейнера и плунжеров. Модели задавались по типу IsotropicElastic. Упругие константы материала задавались: $E = 2.1 \cdot 10^{11}$ Па – модуль Юнга, $\nu = 0.3$ – коэффициент Пуассона. Плотность материала задавалась $\rho = 7800$ кг/м³.

Параметры перемещения соответствовали штамповке на гидравлическом прессе. Технологическое устройство и деталь в момент полного заполнения рельефа матрицы, показаны на рисунке 2.

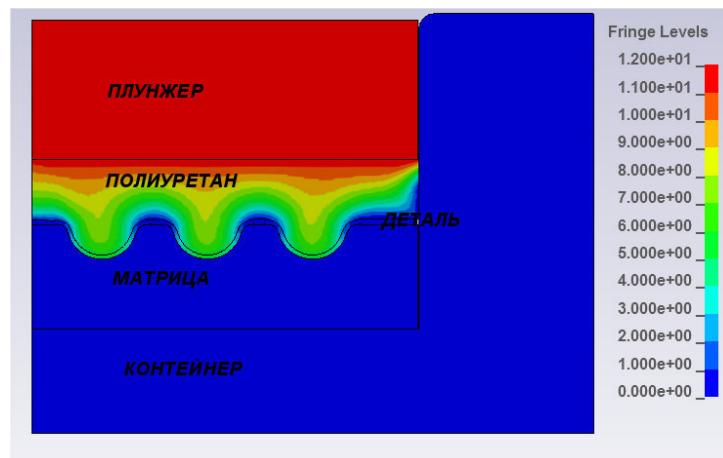


Рисунок 2. Технологическое устройство и деталь в момент полного заполнения рельефа матрицы.
Справа рисунка – диаграмма суммарных перемещений в мм

В целом такой расчет дает возможность оценить НДС точек заготовки, матрицы и контейнера, давление в полиуретане, что позволяет прогнозировать возможное разрушение материала заготовки, прочность матрицы и контейнера. Величина давления в полиуретане также позволяет определить усилие гидравлического пресса, необходимое для заполнения рельефа матрицы.

С точки зрения исследования процесса формовки полиуретаном при его компьютерном моделировании в рамках данного КЭ комплекс интересен выбор модели материала для полиуретана. Одним из критериев такого выбора является оценка равномерности распределения давления в контейнере (рисунок 3).

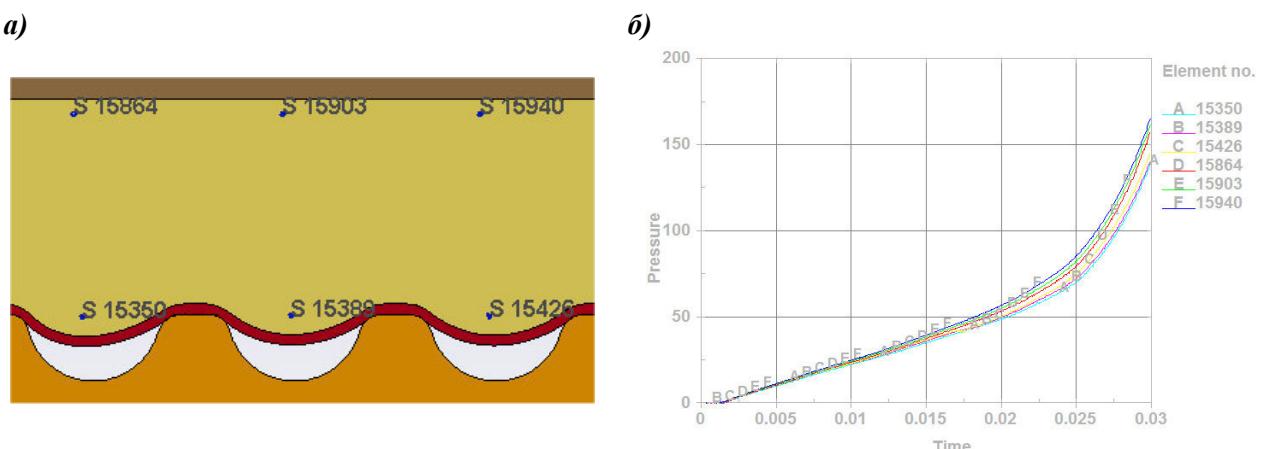


Рисунок 3. Распределение давления в контейнере с полиуретаном: а – отмеченные элементы в полиуретане, б – зависимость давления от времени в отмеченных элементах (МПа, с)

Видно, что для данной модели полиуретана давление практически постоянно (в пределах 15%) во всех точках полиуретанового блока. Это дает возможность при более детальном моделировании деформирования аналогичной заготовки рассматривать ее формоизменение независимо от полиуретана, задавая постоянное давление по площади.

Выводы. В программном комплексе LS-DYNA разработана компьютерная модель формовки листового металла полиуретаном. Расчеты выполнены для варианта формовки заготовки из латуни Л68 толщиной 1 мм. Компьютерная модель позволяет определить основные параметры технологического процесса формовки полиуретаном. Применение модели полиуретана по типу Mooney–Rivlin показывает для расчета типовой детали примерно равномерное давление (в пределах 15%) по всему объему полиуретана.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Комаров А.Д. Штамповка листовых и трубчатых деталей полиуретаном. – Л.: ЛДНТП, 1975. – 36 с.
2. Определение деформирующих давлений при формообразовании деталей из листа эластично-жидкостными и эластичными средами // В.Е. Исаченков / Кузнечно-штамповочное производство, №10, 1976. – С. 10–13.
3. Hallquist J.O. LS-DYNA theoretical manual. Livermore Software Technology Corporation: Livermore, CA, 2006, 498 р.
4. Даева Н.Н. Теоретические и экспериментальные исследования процессов разделения листового металла эластичными средами // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". – 2011. – № 6. – С. 38–43.

УДК 621.7.044

Б.В. Блажевич¹, В.С. Мамутов¹, А.В. Новиков²

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

²ООО «РОЛТЭК»

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «РОЛИК ЭКО beta» МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Введение. «Ролик ЭКО beta» – ответственная деталь, разработанная в кампании «РОЛТЭК», выдерживающая нагрузку 3000 Н. Деталь входит в сборку тележки центральная ЭКО в конструкции подвесных ворот, которая применяется для обеспечения крепления створки, ее перемещения и вращения. В настоящее время данная деталь изготавливается токарной обработкой из прутка. Процессы обработки резаньем обладают следующими недостатками: низкий коэффициент использования металла (КИМ), низкая производительность, сложность автоматизации. В данной работе оценивается возможность изготовления детали «Ролик ЭКО beta» методом холодной объемной штамповки (ХОШ) [1]. Так как экспериментальные исследования, позволяющие дать подобную оценку, весьма трудоемкие и дорогостоящие, то целесообразно осуществить оценивание путем компьютерного моделирования.

Цель работы – разработать компьютерную модель изготовления детали «Ролик ЭКО beta» методом холодного выдавливания с помощью конечно-элементного комплекса (КЭ) Simufact.forming, и на основе результатов анализа моделирования оценить возможность изготовления данной детали холодной объемной штамповкой.

В данной работе разрабатывается технологический процесс холодного выдавливания, состоящий из двух операций: формоизменяющей операции осадки (прямого выдавливания) и обратного выдавливания. Также оценивается возможность изготовления детали при анализе параметров напряженно-деформированного состояния заготовки, возможного разрушения металла и усилия штамповки, определяемых при компьютерном моделировании.

Деталь «Ролик ЭКО бета» и технологические переходы штамповки показаны на рисунке 1. При этом выбран сортовой прокат, пруток ϕ 58 мм, L=6000мм (ГОСТ 7417-75). Пруток режется на заготовки длиной L=8мм. Сталь марки 45 ГОСТ 1050-88.

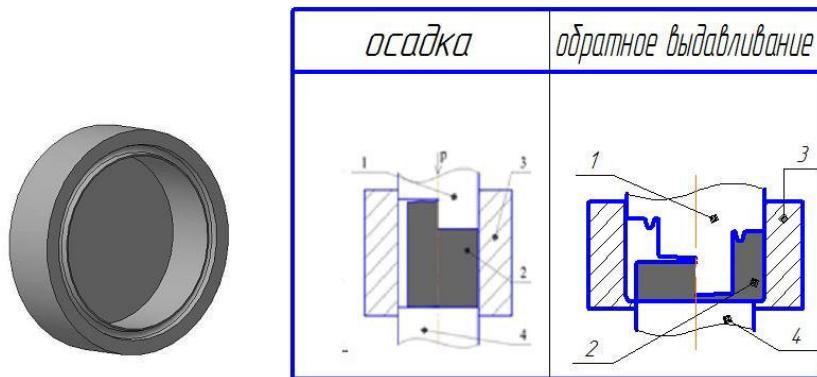


Рисунок 1. Модель детали «Ролик ЭКО бета» и таблица формоизменяющих операций

Первая технологическая операция – осадка, чтобы выровнять плоскость торцов заготовки после отрезки. Последующая операция – обратное выдавливание, которое формирует конечную форму детали.

При компьютерном моделировании заготовка задавалась упруго-пластическим телом со свойствами стали 45. При холодном выдавливании за счет мягкой схемы напряженного состояния интенсивность тензора накопленных деформаций может достигать величины $\varepsilon_{ef} = 1\dots2$ и выше. Если брать для расчета кривую деформационного упрочнения, полученную методом растяжения образца, то максимальная достижимая деформация для стали 45 определяется величиной относительного удлинения в момент разрыва, которая составляет $\delta_5 = 31\%$. Это соответствует величине эффективной деформации, равной $\varepsilon_{ef} = \ln(1+\delta_5/100) \cong 0.27$, что намного меньше указанных выше величин накопленных деформаций. Для данного варианта деформирования заготовки предпочтительной является метод испытания, описанный в работе [2]. В данном справочнике представлены кривые деформационного упрочнения, полученные комбинированным методом сжатия и растяжения образцов, в том числе стали 45. Аппроксимация истинного напряжения текучести от интенсивности тензора инженерных деформаций имеет вид:

$$\sigma_s = \sigma_{s0} + B_1(100\varepsilon_{en})^{m_1}, \quad (1)$$

где $\sigma_s = 35$ кГ/мм², $B_1 = 8.66$ кГ/мм², $m_1 = 0.48$ для стали 45. Переведя инженерную деформацию в логарифмическую

$$\varepsilon_i = \ln(1 + \varepsilon_{en}) \quad (2)$$

можно сделать аппроксимацию истинного напряжения от логарифмической деформации по зависимости Холломана:

$$\sigma_s = B\varepsilon_i^m. \quad (3)$$

При этом получены величины зависимости Холломана: $B = 1356.9$ МПа, $m = 0.3425$, которые задавались в качестве параметров кривой упрочнения в КЭ комплексе.

Также задавались упругие константы материала: модуль Юнга $E = 21000$ МПа, коэффициент Пуассона $v = 0.3$ и плотность $\rho = 7900$ кг/м³. Инструмент моделировался как абсолютно жесткое тело. Матрицы на всех технологических переходах неподвижны, пuhanсоны перемещаются. В качестве оборудования брался гидравлический пресс с постоянной скоростью движения ползуна: 1.0 мм/сек. Коэффициент кулоновского трения предполагался: $\mu=0.1$, что подразумевало наличие на поверхности заготовки смазки (обычно

фосфатирование). Полагалась начальная температура заготовки и инструмента – 20°C. Так как деталь осесимметричная, решение осуществлялось в осесимметричной 2D постановке, для сокращения времени вычислений.

В процессах ХОШ предельная деформация ограничивается пределом ресурса пластичности металла при определенной схеме напряженного состояния. Разрушение металла сопровождается развитием и увеличением количества микропор и микротрещин, относительный объем которых в единице объема металла характеризуется повреждением металла. Для определения зон возможного разрушения металла заготовки принимался критерий Леметра [3]. Параметры критерия Леметра определялись по методике, описанной в данной работе на основе анализа расчетной (в том же КЭ комплексе) кривой растяжения стандартного 5-ти кратного образца.

На рисунке 2 показаны распределения эффективных деформаций в конце первого и второго переходов штамповки. На рисунке 3 представлен график усилия пресса в зависимости от перемещения пуансона на втором переходе. Видно, что максимальное усилие превышает 32.9 МН. Для первой операции максимальное усилие меньше. На рисунке 4 показано разрушение металла (красная область на заготовке).

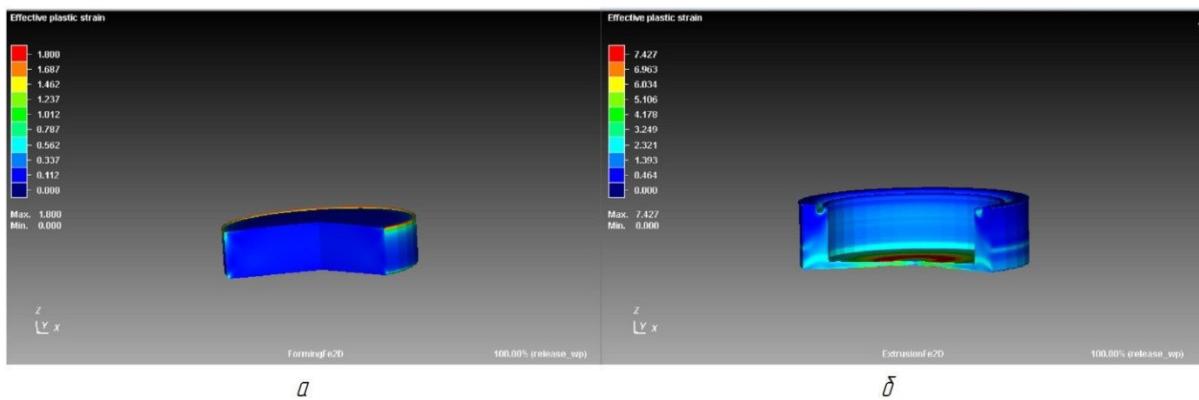


Рисунок 2. Распределение эффективной деформации на первом (a) и втором (б) технологических переходах

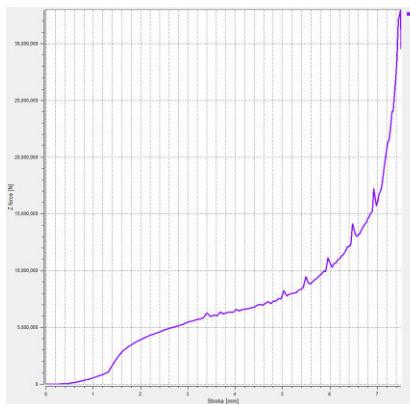


Рисунок 3. Зависимость усилия пресса от хода ползуна на второй операции

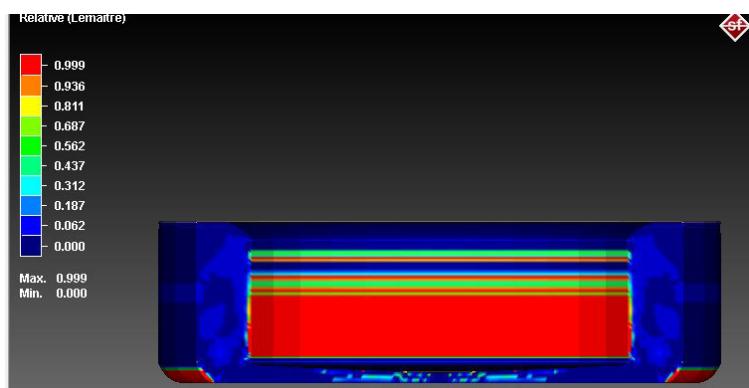


Рисунок 4. Разрушение заготовки на второй операции штамповки

Для обеспечения процесса многостадийной штамповки на одном прессе требуется гидравлический пресс усилием более 40 МН. Установлен характер формоизменения заготовки и заполнения штампа. Так как на втором технологическом переходе имеет место разрушение заготовки, то требуется данную операцию делать за два перехода, включив

операцию термической обработки. Все это делает проблематичным перевод токарной обработки на холодное выдавливание.

Выходы. Предложена технология изготовления детали «Ролик ЭКО бета» методом холодного выдавливания. В конечно-элементном комплексе Simufact.forming разработана компьютерная модель технологии изготовления детали. Для оценки возможного разрушения металла при холодном деформировании использован критерий Леметра. Для обоих операций определены усилия штамповки, определяющие выбор пресса. Результаты компьютерных расчетов показали возможное разрушение заготовки на второй операции штамповки, что требует дополнительной операции термообработки.

ЛИТЕРАТУРА:

- Сосенушкин Е.Н. Прогрессивные процессы объемной штамповки. М.: Машиностроение, 2011.–480 с.
- Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М: Металлургия, 1973.–224 с.
- Lemaitre, J. Engineering damage mechanics. Ductile, creep, fatigue and brittle failures / J. Lemaitre, R. Desmorat. – Berlin – Heidelberg : Springer–Verlag, 2005. – 380 p.

УДК 621.983

А.И. Паскина, В.С. Мамутов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОМПЬЮТЕРНЫЙ РАСЧЕТ СТАТИКО-ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ВЫТЯЖКИ ТОНКОЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Введение. Рассматривается процесс глубокой вытяжки-формовки тонколистовых материалов методом последовательной статико-электрогидроимпульсной штамповки [1]. Принцип работы показан на рисунке 1. Вытяжка заготовки 4 по форме матрицы 2 осуществляется последовательно за счет перемещения пуансона 3 и воздействия на заготовку импульсного давления в разрядной камере 1 при высоковольтном разряде конденсаторной батареи С электрогидроимпульсной установки.

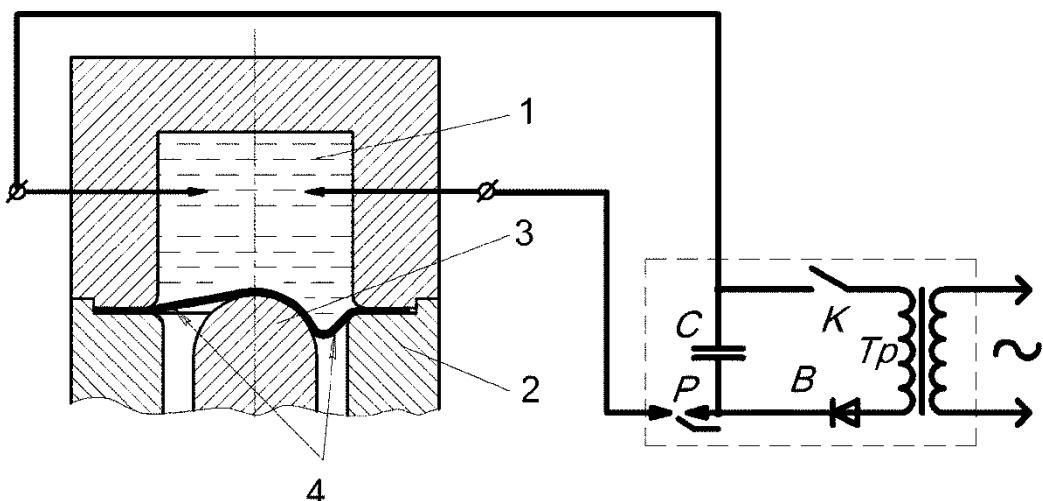


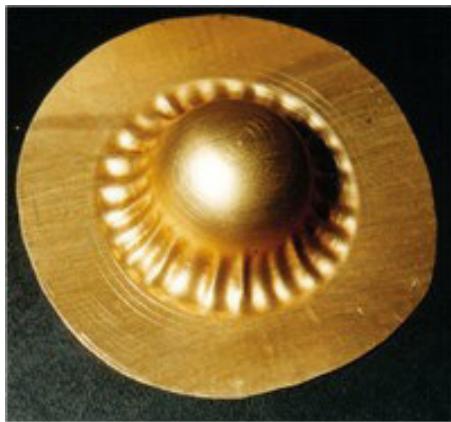
Рисунок 1. Схема процесса статико-электрогидроимпульсной глубокой вытяжки-формовки:
1 – разрядная камера, 2 – матрица, 3 – пуансон, 4 – заготовка из тонколистового металла

Данный процесс обладает преимуществами электрогидроимпульсной штамповки: повышенным по сравнению со статической штамповкой предельным формоизменением и точностью за счет уменьшения пружинения. По сравнению с традиционной электрогидроимпульсной вытяжкой-формовкой процесс дает возможность свободно деформироваться фланцевой части заготовки. Однако определить априорно параметры данного процесса достаточно сложно. Поэтому проектирование требует предварительных расчетов. На начальном этапе исследования данной технологии разрабатывались оригинальные расчетные модели, основанные на механике пластического деформирования оболочек [2]. Однако такие расчетные модели не позволяли учесть всю сложность данного процесса. Одним из немногих конечно-элементных (КЭ) комплексов, позволяющих использовать модели оболочек и рассчитывать одновременно параметры квазистатического и импульсного нагружений, является комплекс LS-DYNA [3].

Целью данной работы являлась разработка компьютерной модели процесса глубокой вытяжки-формовки тонколистовых материалов методом последовательной статико-электрогидроимпульсной штамповки в рамках КЭ комплекса LS-DYNA и апробация ее для конкретного варианта параметров процесса.

Компьютерные расчеты базировались на экспериментальных исследованиях, которые проводились на кафедре МиТОМД [4]. Использована электроимпульсная установка со следующими основными параметрами: максимальное напряжение заряда конденсаторной батареи – 6 кВ; максимальный разрядный ток – 200 кА; емкость конденсаторной батареи – 600 мкФ; собственная частота разрядного тока – 28 кГц; собственное сопротивление – менее 0.001 Ом; максимальная погрешность задания напряжения заряда конденсаторной батареи – 2 %. Заготовка из латуни Л68 толщиной 0.24 мм имела диаметр 110 мм. Материал заготовки имел следующие параметры степенной аппроксимации кривой деформационного упрочнения: $B = 761$ МПа, $m = 0.44$. Диаметр матрицы составлял 60 мм, радиус закругления кромки матрицы 3 мм, диаметр цилиндрической части пуансона равнялся 40 мм, а верхняя часть его имела форму полусферы. Параметры перемещения пуансона на каждом шаге квазистатической части цикла и импульсного нагружения варьировались. На рисунке 2, *a* видно, что после перемещения пуансона возможна потеря устойчивости заготовки, а после импульсного нагружения возможно физическое разрушение (потеря сплошности) материала (рисунок 2, *б*).

a)



б)

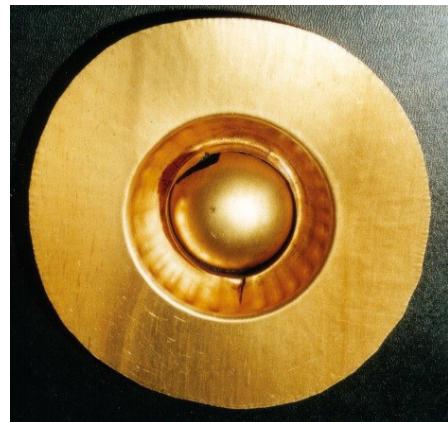


Рисунок 2. Экспериментальные образцы заготовки после штамповки:
а – с потерей устойчивости после квазистатического перемещения пуансона,
б – с физическим разрушением после импульсного нагружения

Можно подобрать требуемые параметры процесса экспериментально, варьируя геометрией инструмента, величиной перемещения пуансона, параметрами импульсного давления. Однако такие экспериментальные исследования требуют много времени и дорого стоят. В настоящее время более целесообразным является применение принципа «цифровой фабрики» – компьютерное моделирование процесса.

В рамках КЭ комплекса LS-DYNA разработана модель процесса глубокой вытяжки-формовки тонколистовых материалов методом последовательной статико-электрогидроимпульсной штамповки. Модель определяется следующими особенностями: для заготовки и компонентов инструмента рассматривается моментная оболочка "Belytschko-Wong" (shell 163, NIP = 101 для заготовки и NIP = 2 для элементов оснастки), контактный алгоритм "Surface to Surface" с кулоновским трением $\mu = 0.2$ для покоя и $\mu = 0.15$ для движения, модель материала "Power Law". Параметры давления задаются аналогично, как это представлено в работе [5]. Область расчета задается $\frac{1}{4}$ заготовки. Используется прямогольная КЭ сетка.

Пример деформированной заготовки после электрогидроимпульсного воздействия представлен на рисунке 3, *a* вместе с ключом FLD. Видно, что предшествующее импульсное давление было избыточным, и имеет место разрушение заготовки (красная зона на заготовке). На рисунке 3, *b* представлена заготовка после последующего перемещения пуансона. Видно, что деформирование заготовки движением пуансона приводит к видимому складкообразованию, что при последующем импульсном нагружении может привести к разрушению заготовки. Варьируя параметры импульсного давления, величину шага перемещения пуансона, зазор между пуансоном и матрицей можно добиться приемлемого характера протекания процесса, когда можно избежать складкообразования и нарушения сплошности металла.

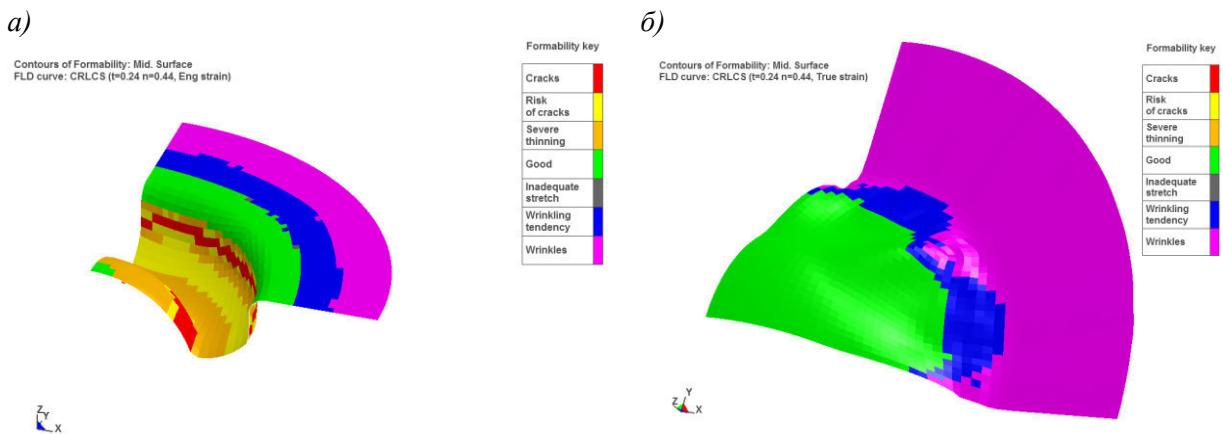


Рисунок 3. Пример деформированного состояния после импульсного нагружения (*a*) и после перемещения пуансона (*b*)

Выходы. В программном комплексе LS-DYNA разработана компьютерная модель процесса глубокой вытяжки-формовки тонколистовых материалов методом последовательной статико-электрогидроимпульсной штамповки. На основе экспериментальных исследований обозначены критические моменты процесса, связанные со складкообразованием и нарушением сплошности заготовки. На конкретном варианте расчета показаны возможности модели по предсказанию данных критических параметров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Поздов И.Н. Способ глубокой импульсной вытяжки деталей. Патент РФ №2158644 МПК B21D22/20, 26/12.
2. Мамутов В.С., Поздов К.И. Расчет статико-электрогидроимпульсной вытяжки металлов // Известия Тульского государственного университета. Сер. Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением, 2006, Вып. 4, с. 182–187.
3. J.O. Hallquist, *LS-DYNA theoretical manual*. Livermore Software Technology Corporation: Livermore, CA, 498 p. (2006)
4. Мамутов В.С., Поздов К.И. Экспериментальные исследования электрогидроимпульсной вытяжки с последовательным набором тонколистового металла на пуансон // Тематический сборник научных трудов «Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении», Краматорск: Наукове Видання, 2003. С. 420–423.
5. Арсентьева К.С., Паскина А.И., Мамутов В.С. Импульсное давление при компьютерном моделировании электрогидроимпульсной штамповки. Материалы научной конференции с международным участием «Неделя науки СПбПУ». Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбПУ. Ч. 2. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018, с. 241–243.

УДК 621.7.043

Н.М. Потапов, Л.Б. Аксенов

Санкт Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССАХ РАСКАТКИ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОВОК

Введение. Трубопровод имеет широкое распространение в современном мире, в основном как лучший способ транспортировки, а также как профиль для строительства. В виду этого формирование внутренних и внешних фланцев также имеет широкое значение. К настоящему моменту описано достаточное количество различных способов изготовления фланцев. Наименее исследованным является процесс раскатки. Процесс раскатки представляет собой локальное деформирование вращающейся заготовки вращающимся инструментом [1, 2]. Получение внутренних фланцев и деталей типа стакан представляет дополнительную сложность, так как метал при раскатке трубной заготовки легче стягивается. А для течения металла во внутрь заготовки необходимо дополнительные условия, как например смещение ролика, что позволяет создать необходимое направление силы трения и тем самым способствовать нужному течению металла [3].

Потеря устойчивости трубной заготовки при равномерном нагружении торцов описано в работе [4]. Представленные там результаты указывают на склонность стенки трубы, при потере устойчивости, к растяжению в окружном направлении. Потеря устойчивости при локальном нагружении, как в процессе раскатки, все еще остается не исследуемым, и частично является предметом исследования данной статьи.

Целью работы является исследование поведения металла при торцевой раскатке трубной заготовки.

В данной работе проведено исследование устойчивости процесса получения фланцев на трубных заготовках с помощью раскатки коническим роликом. Проведен поиск возможных вариантов формирования фланца при различных входных параметрах.

Схема раскатки, используемая в исследовании представлена на рисунке 1. В качестве регулируемых параметров использовались такие как: Угол наклона ролика - α ; δ - смещение оси вращения ролика относительно оси вращения заготовки; вертикальная подача ролика (вдоль оси заготовки) - V ; Геометрия заготовки D/S/H – Внешний диаметр/толщина стенки/высота выставленной части.

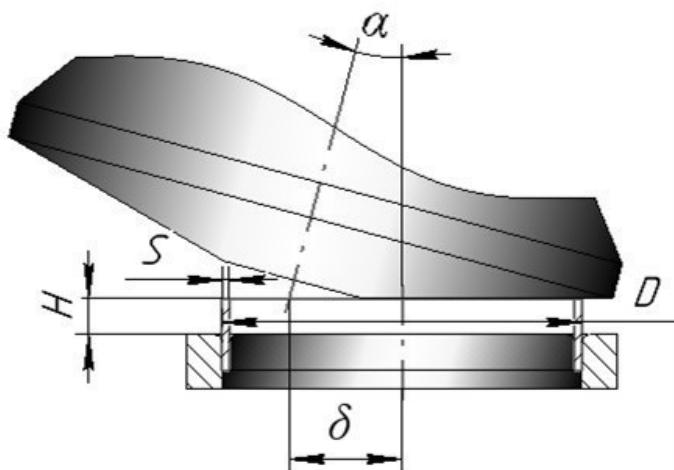


Рисунок 1. Схема торцевой раскатки трубных заготовок

В качестве нерегулируемых параметров использовались: трение между заготовкой и роликом Кулона – $\mu=0,2$; скорость вращения заготовки 60 об/мин; температура процесса $t=20^\circ$; Материал заготовки сталь AISI-1045 которая является аналогом стали 45.

Моделирование проводилось в программном комплексе Deform-3Dv-11. Для моделирования инструмент принят абсолютно жестким и его деформация, и смещение не учитывается. Для расчета использовался явный решатель с инкрементом шага 0,001 с/шаг.

В результате моделирования наиболее явный результат получился при следующих параметрах процесса, представленного в таблице 1.

Таблица 1. Входные параметры для моделирования процесса раскатки

№опыта	D, мм	S, мм	H, мм	H/S	D/H	$\alpha, ^\circ$	$\delta, \text{мм}$	V, мм/сек	КЭ, шт	Рисунок
1	100	2	10	5	10	3	30	1,5	10727	2 а
2	120	2	20	10	6	15	30	1,5	10465	2 б
3	120	2	10	5	12	10	30	1,5	6471	2 в, 2 г

Результат моделирования по принятым параметрам представлен на рисунке 2.

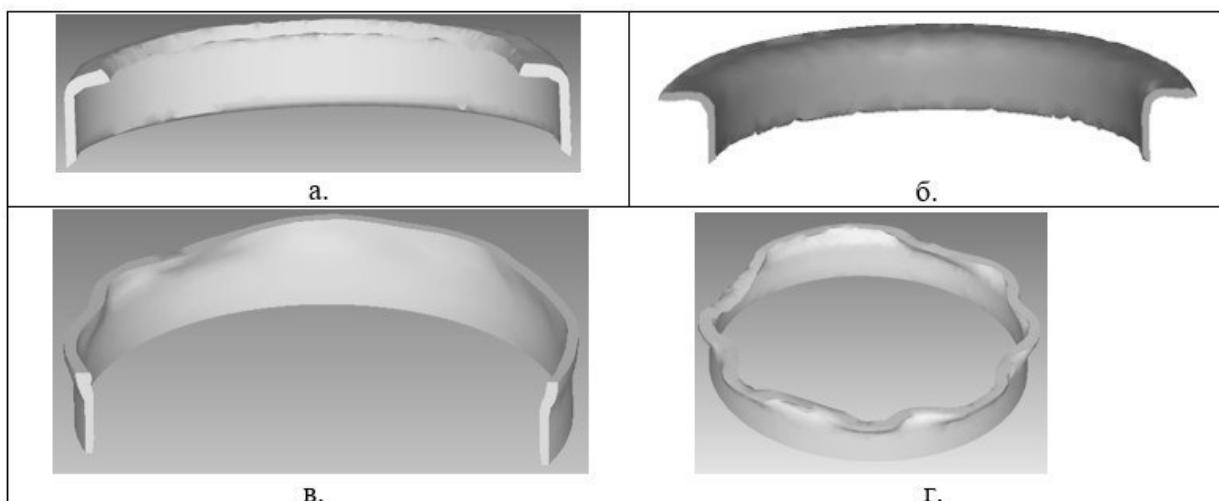


Рисунок 2. Варианты формования фланца при различных параметрах

По результатам моделирования явно видны несколько возможных вариантов формоизменения. Такие, как: образование внутреннего фланца рисунок 2, а, образование внешнего фланца - рисунок 2, б. Третий вариант имеет промежуточное состояние между 1 и 2 вариантом. В третьем варианте получили колебательное изменение формы, где часть стенки деформируется во внутрь, а часть наружу и все это происходит с неким периодом рисунок 2. в. При дальнейшей раскатке это приводит к замятиям металла, и неровности как фланца, так и стенки, которая должна оставаться необрабатываемой.

Графики усилия второго и третьего варианта приведены на рисунке 3.

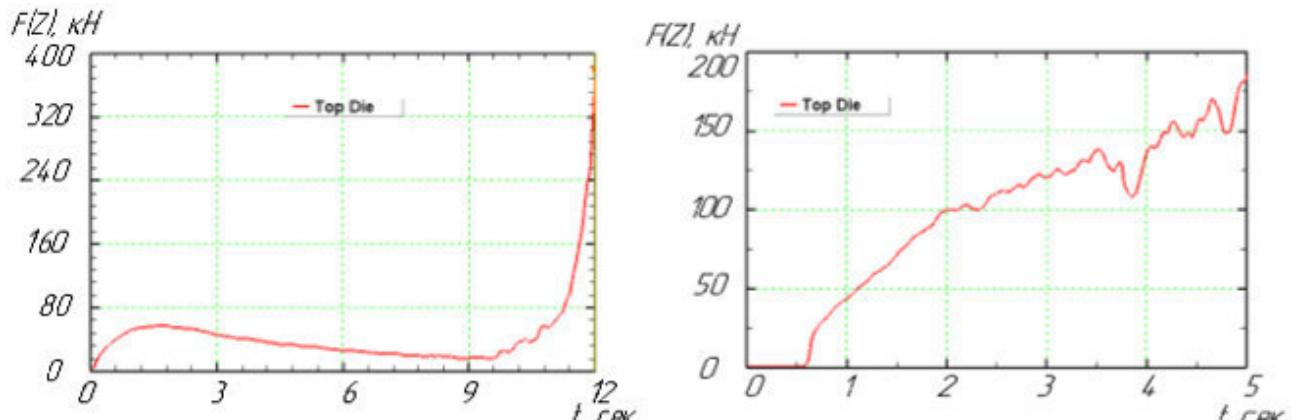


Рисунок 3. График вертикального усилия ролика, левый – опыт 2, правый – опыт 3

Из графиков видно, что максимальное усилие различается в два раза, несмотря на то что геометрические параметры заготовки близки, а в третьем опыте использовался ролик 10 градусов с большим углом контакта. Это может свидетельствовать о потере устойчивости заготовки при раскатке.

По проведенному исследованию можно сделать вывод, что при формировании фланцев с помощью раскатки помимо получения внутреннего и внешнего фланца, как желаемого результата, так же есть вероятность получения промежуточной формы, которая является желательной. Условия появления которой требует уточнение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Аксенов Л.Б., Кункин С.Н., Елкин Н.М. Торцевая раскатка фланцевых деталей трубных соединений // Металлообработка. 2011. № 3 (63). С. 31-36. 3.
2. Гуринович В.А., Баландин Ю.А., Гурченко П.С., Колпаков А.С., Жарков Е.В., Исаевич Л.А., Сидоренко М.И. Торцевая раскатка деталей фланцевого типа // Автомобильная промышленность. 2005. № 9. С. 18-24.
3. Аксенов Л.Б., Кункин С.Н. Технология изготовления раскаткой осесимметричных деталей с фланцем. Современное машиностроение. Наука и образование, материалы Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург.- СПб.: Изд-во Политехн.ун-та, 2013. с. 858-866.
4. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов / Голенков В.А. Яковлев С.П. Головин С.А., Яковлев С.С., Кухарь В.Д.; под ред. В.А. Голенкова, С.П. Яковleva. – М.: Машиностроение, 2009. – 442 с.: ил.

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ПОРОШКОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАГОТОВОВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННОГО КОМПОЗИТА ТИПА ПСЕВДОСПЛАВ

Введение. Основной областью применения антифрикционных материалов на базе алюминия являются подшипники скольжения для двигателей автомобилей, тракторов, тяжелых транспортных дизелей, что обусловлено такими преимуществами алюминиевых сплавов, как:

- 1) Экономичность (алюминиевые сплавы заменили баббиты и свинцовые бронзы);
- 2) Исключительная задиростойкость Al-Pb сплавов (что делает их наиболее пригодными для эксплуатации в условиях высоких скоростей и тонких слоев смазки);
- 3) Высокое сопротивление кавитационному износу (кавитационных износ зачастую лимитирует рабочий ресурс дизельного двигателя) [1].

Наибольшее распространение получили биметаллические ленты «Сталь –Al – Антифрикционный слой», применение которых позволяет организовать массовое производство с использованием автоматизированных поточных линий. При этом антифрикционный слой может быть получен как традиционными, так и технологиями порошковой металлургии. В частности, антифрикционным слоем может выступать псевдосплав, т.е. сплав, состоящий из невзаимодействующих металлических фаз – каркаса, пронизанного сетью тонких капилляров, и пропитки, которая заполняет объем последних. Механические свойства псевдосплава зависят от полноты пропитки спеченного порошкового каркаса (полной пропитке соответствует отсутствие тупиковых пор). Нижней границей, при которой закрытая пористость минимальна (не более 2-3% от общей пористости), как правило, служит значение общей пористости 15-18% [2].

Цель работы. Оценить пригодность заготовок для получения псевдосплава с антифрикционными свойствами на основании результатов численного эксперимента при различных режимах прессования.

Методика работы: моделирование в пакете ABAQUS Dynamic Explicit с использованием реологической модели Друкера-Прагера (CapModel). В соответствии с [3], при расчетах в данном пакете, изменяется напряжение течения P_b и объемная деформация ε_v . При этом параметры R , d и β остаются постоянными.

Свойства материала приняты в соответствии с опубликованными данными [4] и приведены в таблице 1. Для задания параметров R , d , β выбраны значения из последней строки. Начальная плотность – 61%. Модуль Юнга принят равным 20 ГПа.

Таблица 1. Параметры модели (DPC) для сплава АМг5

d , МПа	β	R	P_a , МПа	P_b , МПа	ε_v	ρ , кг/м ³	$\rho_{\text{отн.}}$
3	70.5	0.5	15	21.8	0.0	1647	0.61
7	70.4	0.6	25	39.8	0.1	1809	0.67
9	70.2	0.7	35	58.5	0.2	2025	0.75
11	70	0.8	40	71.2	0.3	2133	0.79
17	69.8	0.9	45	88.6	0.3	2214	0.82

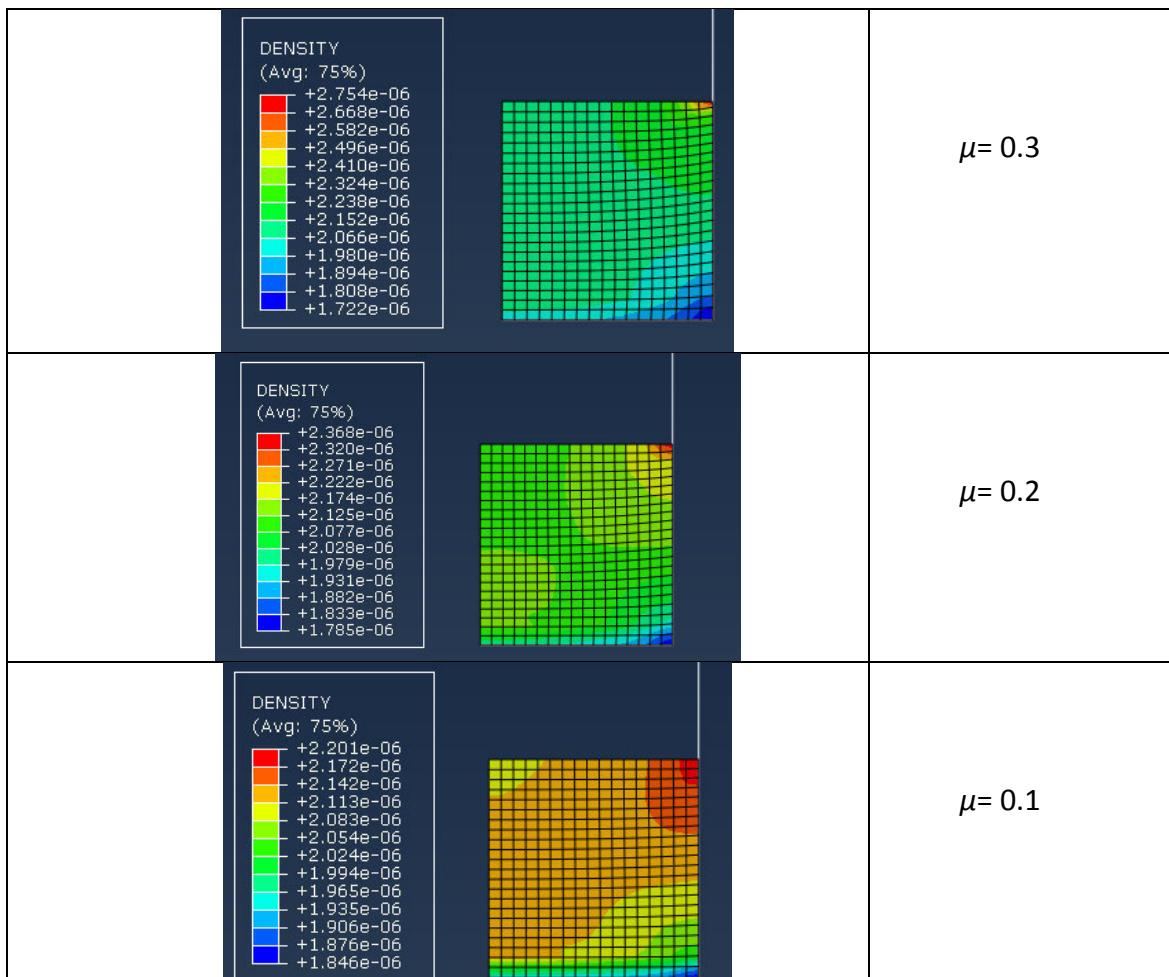
Геометрическая модель: Радиус цилиндрической заготовки 15 мм, высота 20 мм.

Границные условия: трение между матрицей и материалом с постоянным с $\mu = 0.3, 0.2, 0.1$; ограничение перемещения нижней части заготовки; перемещение со скоростью 3 мм/с верхней грани заготовки (имитация движения пуансона).

Шаги: нагрузка – 1.5 с, разгрузка – 0.1 с.

Результаты численного эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты численного эксперимента при различных режимах прессования.



Вывод: результаты моделирования показали, что с уменьшением коэффициента трения μ , уплотнение материала по объему более равномерное, что снижает вероятность образования тупиковых пор и делает алюминиевую заготовку пригодной для получения псевдосплава. Определение рациональных режимов прессования позволит достичь большей прочности и лучших антифрикционных свойств, в частности при сухом трении.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Буше Н.А. Подшипники из алюминиевых сплавов. М: Транспорт, 1974 – 256с
2. Тучинский Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки – М: Металлургия, 1986 – 208с
3. Brewin P.R., Coube O, Doremus P., Tweed J. Modelling of Powder Die Compaction. Springer – 57-59 pp
4. Д.В. Фук, С.В. Ганин, В.Н. Цеменко. Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 1(238)' 2016

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ РАЗРУШЕНИЯ ЛЕМЕТРА

Введение. При моделировании процессов горячей объемной штамповки (ГОШ) важным является прогнозирование возможного разрушения заготовки [1]. Оценка возможности разрушения материала при штамповке дает возможность использовать результаты компьютерного моделирования для проектирования технологии и оснастки изготовления детали. В данной работе рассматривается компьютерное моделирование детали «Шестерня» с применением критерия разрушения Леметра [2].

Цель работы. Выполнить компьютерное моделирование в конечно-элементном (КЭ) комплексе Simufact.Forming процесса ГОШ детали «Шестерня» из стали 35Х с оценкой возможного разрушения металла по критерию Леметра.

Расчетным путем была получена диаграмма растяжения стали 35Х. При этом осуществлялось растяжение стандартного образца по ГОСТ 1497-84 (образец №5). Параметры разрушения по критерию Леметра определялись по методике [3], показанной на рисунке 1.

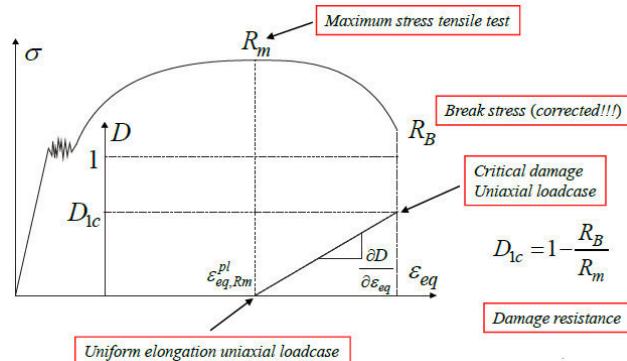


Рисунок 1. Параметры разрушения по Леметру

Испытания на растяжение проводились для виртуального образца в КЭ комплексе Simufact.Forming. Образец нагревался до температуры 850 °C, а матрица – до 200 °C. Образец растягивался со скоростью 10 мм/с. На рисунке 2 показан образец после растяжения.

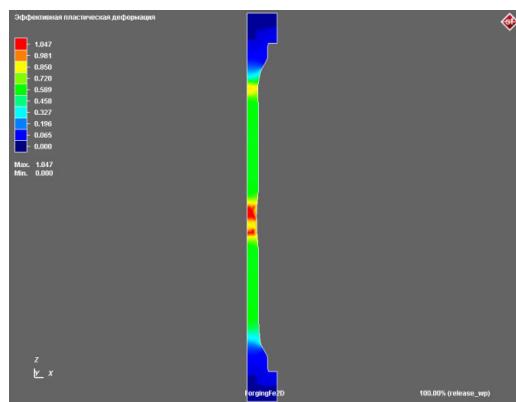


Рисунок 2. Результат растяжения образца

По полученным расчетным данным, строилась кривая деформационного упрочнения для стали 35Х (рисунок 3).

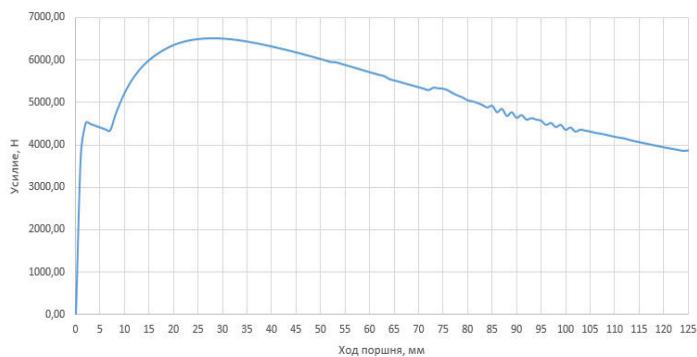


Рисунок 3. Расчетная кривая деформационного упрочнения стали 35Х

По кривой деформационного упрочнения находились параметры критерия разрушения Леметра: $D_{1c} = 0.407$, $R_m = 130$ МПа, $\varphi = 1.47$. Параметр сопротивления разрушению принимался равным $S = 7$ для горячей штамповки по рекомендациям работы [3].

Расчеты показали (рисунок 4), что возможное разрушение заготовки при штамповке детали «Шестерня» произойдет только в районе облоя (красная зона), что не критично для штамповки.

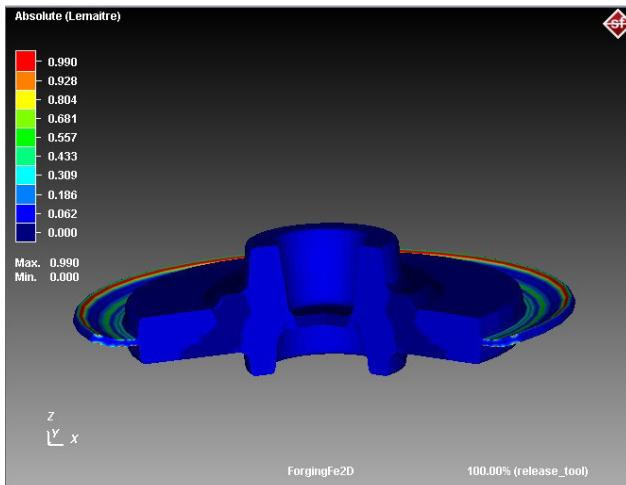


Рисунок 4. Разрушение поковки

Выходы:

1. По результатам компьютерного исследования получены параметры критерия разрушения Леметра для горячей штамповки стали 35Х.
2. Выявлено возможное разрушение на краю облоя поковки детали «Шестерня», что не критично для штамповки данной детали.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Володин И.М. Моделирования процессов горячей объемной штамповки / И.М. Володин // – М.: Машиностроение. – 2006, 256 с.
2. Lemaitre J, Desmorat R. Engineering Damage Mechanics. – France: Springer, 2005. – 380 с.
3. Crack prediction in massive forming via simulation. URL <https://www.simufact.com>.

АЗОТИРОВАНИЕ, КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Повышение прочности, долговечности и надёжности деталей машин за счёт современных методов улучшения конструкционных материалов, является одной из главных проблем машиностроения. Особое место занимают пары трения. Связано это с тем, что 85-90% машин не достигают требуемого ресурса из-за изнашивания поверхностей сопряжённых деталей; затраты же на ремонт и техническое обслуживание изделий в машиностроении в несколько раз превосходят их себестоимость. Создание машин, не требующих капитальных ремонтов, позволяет сэкономить огромное количество финансовых средств, материальных ресурсов [1, 2].

Азотирование является одним из эффективных способов повышения твёрдости, износостойкости, усталостной и коррозионной стойкости, задиростойкости поверхности деталей машин (коленчатые валы, гильзы цилиндров, червяки, валики, муфты, шестерни). Был проведён широкий обзор исследований для выбора оптимального технологического процесса изготовления муфты для соединения двух валов. Материал муфты - легированная сталь перлитного класса марки 38ХМЮА. Перед азотированием деталь подвергают полной механической обработке. Оставляют только небольшой припуск на шлифовку. Для повышения прочности и вязкости сердцевины производят термическую обработку до азотирования. Она заключается в закалке на мартенсит и высокому отпуску на сорбит (улучшению). Азотирование является заключительной операцией [3, 4]. Если бы от детали не требовалось высокой прочности сердцевины, достаточно было бы провести перед азотированием нормализацию. В нашем случае мы делали улучшение. Участки, которые не азотируются, подвергали защитному покрытию. В качестве защитного покрытия мы использовали жидкое стекло. Оно наносилось двойным слоем и высушивалось при температуре 100 - 120 °С. Для лучшего сцепления стекла с поверхность детали она электрообезжиривалась. Особенно тщательно была обезжириена внутренняя поверхность муфты с внутренним зубом. Подготовленная деталь, устанавливалась в муфель с таким расчётом, чтобы обеспечить свободную циркуляцию диссоциирующего газа - амиака. Вероятно, что на стальной поверхности происходит выделение ионов азота, которые адсорбируются поверхностью детали, а затем диффундируют вглубь. При нагреве амиака в изолированном объёме возможна лишь реакция с образованием молекулярного азота: $2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$, который не может диффундировать в сталь без ионизации. Азотирование – самый длительный процесс из всех видов ХТО. Продолжительность может достигать двух суток и более. Поэтому мы использовали двухступенчатый режим азотирования: 510 °С -15, и 550°С – 25 часов, соответственно. Диффузионная зона толщиной около 0,5 мм. Такое повышение температуры обеспечивало нам ускорение процесса. В легированной стали 38ХМЮА при азотировании структура диффузионной зоны при изотермической выдержке образовывала двухфазные слои. При медленном охлаждении после азотирования, вследствие переменной растворимости азота в α - и ϵ - фазах происходит выделение вторичной $\gamma_{\text{вт}}$ - фазы и структура азотированной зоны от поверхности к сердцевине стала следующей: $\epsilon + \gamma_{\text{вт}}^1 \rightarrow \gamma^1 \rightarrow \alpha + \gamma_{\text{вт}}^1 \rightarrow \alpha$ (рисунок 1). Поперечный шлиф азотированной стали 38Х2МЮА [1], из которого видно, что при азотировании на поверхности формируется слой нитридов железа Fe₂N (ϵ -фаза), под которым располагается диффузионная зона. Этот слой нитридов железа ответственен за долговечность пар трения, увеличивая путь трения более чем в два раза.

Диффузационная зона состоит из легированной азотом матрицы и включений нитридов легирующих элементов. Азотированная сталь, имеющая на поверхности слой ϵ – фазы, коррозионностойка в воде и в атмосферных условиях. Использованная нами сталь для изготовления муфты 38ХМЮА содержит, % 0,35-0,42 °С; 1,35-1,65 Cr; 0,7 – 1,10 Al; 0,15 – 0,25 Mo. Комплексное легирование хромом, алюминием и молибденом позволило повысить твёрдость азотированного слоя до HV=12000 МПа. Молибден устранил отпускную хрупкость, которая возникает в сталях перлитного класса при медленном охлаждении с температуры азотирования. Твёрдость определяли на приборе Виккерса с нагрузкой 10 кг. Глубину азотированного слоя проверяли на контрольных образцах (свидетелях) из этой же стали 38ХМЮА, азотируемых вместе с деталями. Для этого с торца свидетеля сошлифовывался слой 1,0 – 1,5 мм и производилось травление 5% - ной азотной кислотой. Глубину слоя определяли с помощью лупы Бринелля.

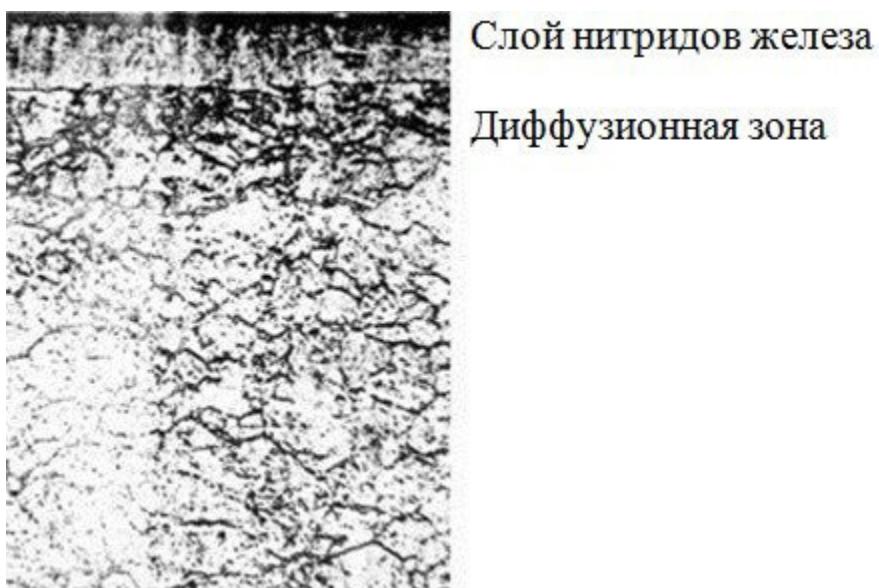


Рисунок 1. Микроструктура поверхностного слоя азотированной стали 38Х2МЮА

Муфта из стали 38ХМЮА подвергалась следующей обработке: ковке, нормализации, горячей штамповке, низкотемпературному отжигу, обработке резанием, покрытие наружной поверхности муфты жидким стеклом, для защиты от азотирования. Муфты устанавливались в корзины и накрывались муфелем. Для удаления воздуха муфель продували аммиаком. Нагрев до температуры 510°С -5 часов, выдержка при этой температуре 15 часов. При степени диссоциации аммиака 20-35%. Затем повышение температуры до 550°С за 2-4 часа и выдержка при этой температуре 25 часов. При степени диссоциации аммиака 35-60%. Подъём температуры до 560°С за 1-2 часа, выдержка при этой температуре без подачи аммиака. Охлаждение под током аммиака до 220-240°С, затем на воздух. В легированных сталях азот образует с алюминием, хромом и молибденом нитриды в очень дисперсной форме, вследствие чего поверхностный слой приобретает твёрдость, намного превышающую твёрдость цементованных деталей. Образование азотированного слоя сопровождалось увеличением удельного объёма, и у поверхности возникли остаточные сжимающие напряжения (до 60-80 кгс/мм²). Остаточные напряжения сжатия повышают предел выносливости азотированных изделий. После азотирования повышается износостойкость и уменьшается склонность к износу деталей при работе в условиях трения.

Известно [1, 2], что триботехническими характеристиками пар трения подтверждена эффективность применения азотирования на изделиях из стали 38Х2МЮА с оптимальной

структурой. Азотированная сталь оказывается наиболее работоспособной и применение её для повышения прочности, надёжности и долговечности имеет большие перспективы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Исследование износстойкости поверхностного слоя азотированной стали 38Х2МЮА. Шистка Е.Е., Герасимов С.А. «Наука и образование»,: ФГБОУ ВПО «МВТУ им. Н.Э. Баумана, 10.10.2008, 17с.
2. Разработка обобщённого параметра структуры азотированных сталей для рационального выбора пар трения. Алексеева М.С., Герасимов Н.Г., Герасимов С.А., Куксёнова Л.И., Лаптева В.Г. Материалы 77-й международной НТК ААИ «Автомобиле-и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», М.: 2014
3. Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина, 7 издан. стереотип.-М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 648 с.:ил.
4. Теория термической обработки металлов. Учебник. Изд. 3-е, испр. и доп. Новиков И.И. М., «Металлургия», 1978, 392 с.

УДК 621.77

М.А. Урядченко, М.В. Игнатенков, С.Н. Кункин
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАКРЫТОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ «КОЛЬЦО»

Актуальность. Технологические процессы горячей объемной штамповки на молотах и прессах остаются в различных отраслях промышленности одними из самых распространённых. Крупносерийное и массовое производство штампованных изделий на кривошипных прессах предъявляет особые требования к проектируемой технологии процесса штамповки. Одним из главных требований при разработке такого процесса – эффективность технологии, когда даже небольшое снижение себестоимости штамповки несет высокий экономический эффект в масштабах партии деталей [1, 2, 3].

Цель работы. Разработать технологию закрытой горячей объемной штамповки детали «Кольцо» на кривошипном горячештамповочном прессе (КГШП) с целью снижения себестоимости штамповки за счет снижения расхода металла по сравнению с открытой (обойной) штамповкой путем компьютерного моделирования процесса штамповки для определения оптимальных значений параметров геометрии, как заготовки, так и инструмента.

Методы исследования. В настоящее время программные комплексы, предназначенные для моделирования технологических процессов обработки металлов давлением, позволяют без существенных затрат выполнить десятки численных экспериментов для проверки схем технологического процесса, его эффективности за счет снижения расхода металла (увеличения КИМ), увеличения стойкости штамповой оснастки, обеспечения благоприятного волокнистого строения структуры отштампованного изделия. Использование программного комплекса Deform 3D обеспечивает малое время разработки технологии, позволяет проверить конечную форму штамповки и качество заполнения гравюры штампа, наличие дефектов (складок и др.), определить усилия и энергию деформирования для правильного выбора оборудования.

Наиболее оптимальным исходным объектом данной работы была твердотельная электронная модель детали «Кольцо» согласно ГОСТ 2.052-2006. Данная модель, выполненная в программе SolidWorks, представлена на рисунок 1.



Рисунок 1. Твердотельная модель детали «Кольцо»

Разрабатываемая технология изготовления детали «Кольцо» на кривошипном горячештамповочном прессе (КГШП) состоит из трех основных операций: осадка, предварительная штамповка и штамповка в окончательном ручье. Особенностью предлагаемой технологии закрытой штамповки заключается в том, что при штамповке в окончательном ручье по внешнему периметру поковки нет облоя, а лишний металл, возникающий из-за колебаний объема заготовки, вытекает в перемычку. Данная технология позволит получить более точную штамповку и сэкономить значительное количество металла. На основе электронной модели механически обработанной детали был разработан чертеж поковки [4, 5, 6].

Деталь «Кольцо» изготавливается из стали 38ХМ. Поскольку закрытая штамповка предъявляет повышенные требования к стабильности объема заготовок резка заготовок будет осуществляться дисковыми пилами на современных отрезных станках. Размеры заготовки: диаметр 75 мм, длина – $142 \pm 0,5$ мм. Нагрев заготовок под штамповку осуществляется в индукционном нагревателе до температуры 1250°C . Одной из основных задач проектирования технологии закрытой штамповки данной детали является точное определение величины осадки исходной заготовки на первой операции штамповки и рациональный выбор формы предварительного ручья. Решение поставленных задач осуществлялось на основе компьютерного моделирования в программном комплексе Deform 3D. На первой операции исходную заготовку осаживают на 80 мм. На второй операции заготовка деформируется в предварительном ручье, где принимает форму, представленную на рисунке 2.

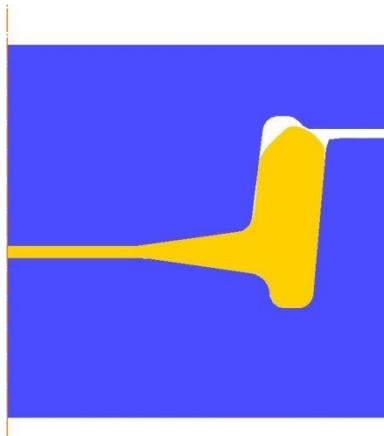


Рисунок 2. Заготовка после предварительной штамповки (фасонирования)

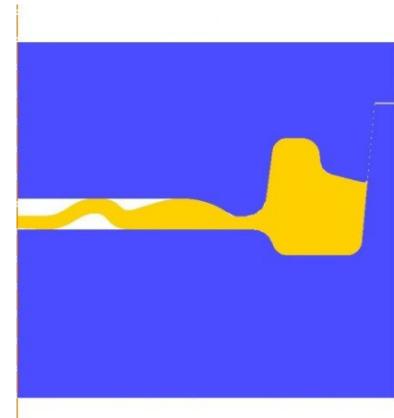


Рисунок 3. Поковка в окончательном ручье

Окончательная штамповка осуществляется в чистовом ручье. Особенностью конструкции окончательного ручья является то, что наметка под прошиваемое отверстие выполнена с магазином увеличенного объема для вытекания лишнего металла при колебаниях объема заготовки. Результаты моделирования этой операции представлены на рисунке 3.

В результате компьютерного моделирования определены усилия штамповки на каждой операции, на основании которых выбран КГШП номинальным усилием 25 МН (рисунок 4).

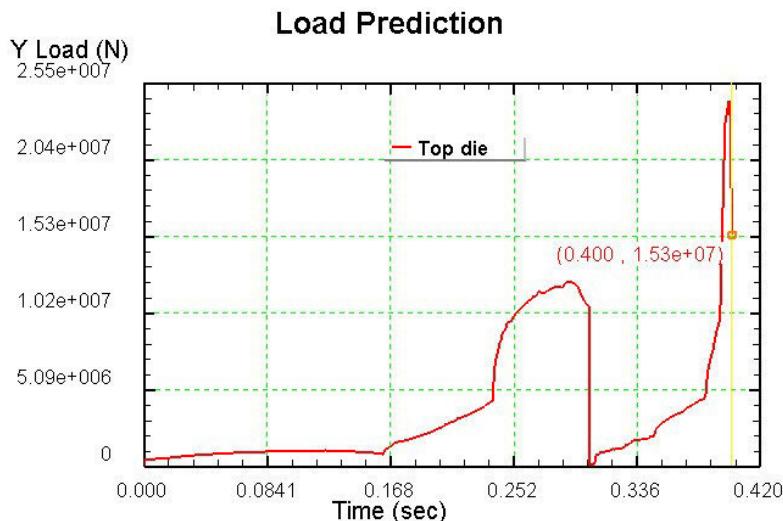


Рисунок 4. График усилий на трёх последовательных операциях

Заключительной операцией технологического процесса является пробивка перемычки на обрезном прессе. Так как по периметру штамповки отсутствует обой, то конструкция обрезной инструмента значительно упрощается. Сравнение существующего процесса обойной штамповки с разработанной технологией закрытой штамповки при том же диаметре заготовки, показывает, что экономия металла составляет более 15 %.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Cheng Yang, Shengdun Zhao, Jianjun Zhang. A single stage hot forging process and die set of alternator poles. IntJMaterForm (2013) 6:511–517, DOI 10.1007/s12289-012-1103-x
2. А.Ю. Аксёнова, Н.В. Коробова, А.М. Дмитриев Анализ различных методов разработки процесса изготовления корпусных деталей комбинированным выдаливанием. Компьютерные исследования и моделирование, 2014 Т. 6 № 6 С. 967–974
3. Zhen-Shan Gao, Ju-BoLi, Xiao-Zhong Deng, Jian-JunYang, Fu-Xiao Chen, Ai-JunXu, LeiLi. Research on gear tooth forming control in the closed die hot forging of spiral bevel gear. Int J AdvManufTechnol (2018) 94:2993–3004, DOI 10.1007/s00170-017-1116-1
4. ГОСТ 7505 - 89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнецкие напуски.
5. Ковка и штамповка : справ.: в 4 т. / редсовет: Е.И. Семенов [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2010 . [т.] 1: Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка / [А.Ю. Аверкиев [и др.]] ; под ред. Е.И. Семенова . - 716 с. : ил.
6. Ковка и штамповка : справ.: в 4 т. / редсовет: Е.И. Семенов [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2010 .[т.] 2: Горячая объемная штамповка / [А.П. Атрошенко [и др.]]; под ред. Е.И. Семенова . - 719 с.: ил.

АНАЛИЗ РАЗМЕРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ИКОЭРЦЕТИВНОЙ СИЛЫ В ПРОЦЕССЕ
ТВЕРДЕНИЯ МАРТЕНСИТА В ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЯХ

Используемые в данной работе способы рассмотрения закономерностей распадов твёрдых растворов, упоминаемые нами ранее [1], дали нам основание определить пути повышения работоспособности и предотвратить преждевременное разрушение изделий. Анализируя ход изменения твёрдости при низкотемпературном старении сталей [2], возникает вопрос о причине аномальности изменения этой твёрдости. Некоторые исследователи, в том числе Э. Гудремон [3], считали повышение твёрдости при низкотемпературном отпуске результатом превращения остаточного аустенита с образованием вторичного мартенсита. До настоящего времени, несмотря на многочисленные исследования, отсутствует единое мнение об инкубационном периоде формирования карбидной фазы. Были проведены эксперименты по уточнению влияния превращения остаточного аустенита на низкотемпературное твердение.

Так были исследованы образцы предварительно закалённых сталей У8 и ХВГ на изменение их размеров (плотности) с различной длительностью старения при комнатной температуре. Испытания проводились на образцах цилиндрической формы диаметром 16 мм и длиной 50 мм. Торцы образцов шлифовались вручную после закалки на мелкой наждачной бумаге. Размерные изменения регистрировались с помощью прибора микрокатора. Пределы измерений по шкале прибора составляли ± 15 мкм, цена деления 0,5 мкм. Снятие показаний прибора проводили через каждые 30 минут после установки образца в первые 100 часов, а затем один раз в сутки. На рисунке 1 показано, что исследуемые, предварительно закалённые образцы сталей марок ХВГ и У8, обнаруживают заметное сокращение длины образцов от длительности старения. Кривая сокращения в первом приближении может характеризоваться двумя участками: ускоренным (до 30-50 часов) и последующим, относительно плавным. Изменение плотности во времени коррелирует с изменением твёрдости (повышением её с длительностью старения).

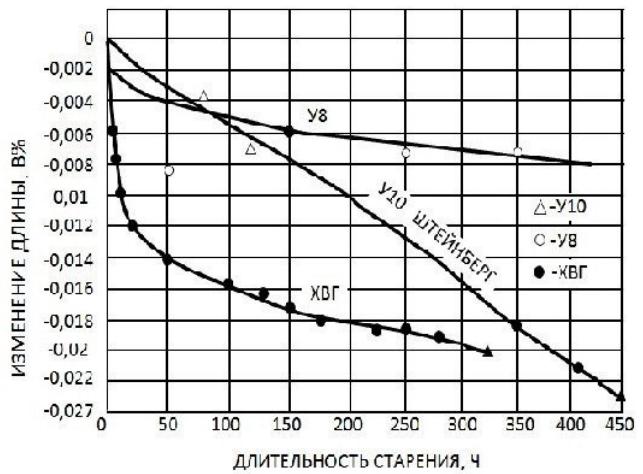
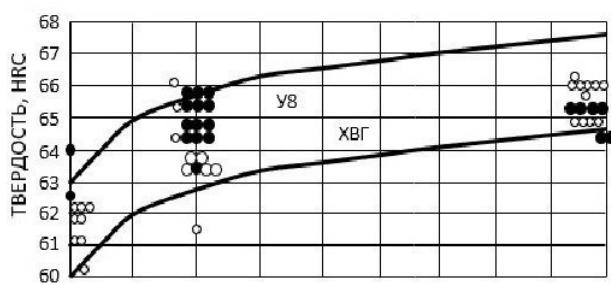


Рисунок 1. Вторичное твердение и линейное сжатие в закалённых инструментальных сталях при комнатной температуре

Рентгеноструктурным анализом [4] было установлено, что в температурно-временном интервале низкотемпературного старения не наблюдается количественного изменения остаточного аустенита. В таком случае, можно однозначно отвергнуть влияние процессов распада остаточного аустенита на низкотемпературное твердение мартенсита. Тогда распад аустенита, как известно, должен был бы привести не к повышению плотности (сокращению размеров образцов), а наоборот, к уменьшению её. Остаётся полагать, что обнаруженное явление сокращения длины образцов во времени обусловлено структурными превращениями в мартенсите, протекающими на ранних стадиях формирования карбида. Был проведён широкий комплекс исследований физических свойств [2, 5, 6] сталей для выявления процессов, протекающих в латентном периоде формирования карбида Fe_3C , установления природы твердения мартенсита.

Были проведены исследования по выявлению ранних стадий распада мартенсита в процессе старения по изменению коэрцитивной силы на образцах марок ХВГ и У8, предварительно закалённых. В эксперименте снимались показания не самой коэрцитивной силы (H_c), а определялась величина, ей пропорциональная, I_c , т.е. $H_c=K \cdot I_c$. Было установлено влияние длительности старения на предварительно закалённые инструментальные стали при температуре 50°C. Как и ожидалось, с увеличением длительности старения при этой температуре, имеет место увеличение значений коэрцитивной силы. Так, если для сталей ХВГ и У8 в свежезакалённом состоянии значения составляли соответственно: 38 и 36, то после старения длительностью 300 минут при температуре 50°C они были 50 и 46 (рисунок 2). Кроме того, было исследовано влияние длительного старения при комнатной температуре на изменение значений коэрцитивной силы для предварительно закалённой стали марки У8. Установлено, что при длительности старения в 1500 часов начинает проявляться снижение коэрцитивной силы. При длительности старения до 50 часов, наблюдается постепенное увеличение коэрцитивной силы, а затем такой же постепенный спад её. Последнее, по-видимому, следует связывать с началом появления первых обособленных карбидов Fe_3C .

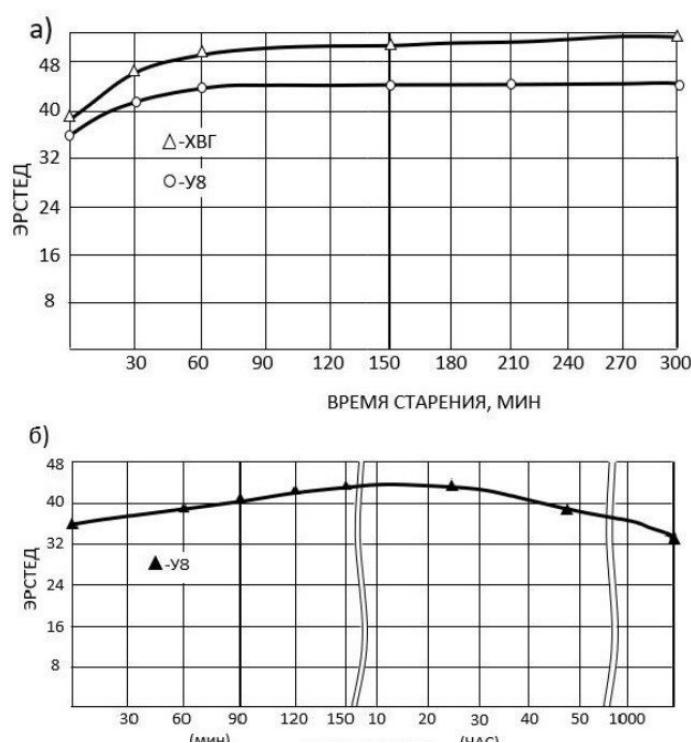


Рисунок 2. Характер изменения коэрцитивной силы с длительностью старения при 50°C (а) и комнатной температуре (б) закалённых инструментальных сталей

Таким образом, как и представлялось, исследованием изменения коэрцитивной силы, как и при использовании методов размерных изменений и электросопротивления [1] можно приблизиться к пониманию проблем механизма и кинетики структурных превращений на ранних стадиях распада мартенсита в процессе старения предварительно закалённых инструментальных сталей. На основе этого можно объяснить некоторые закономерности твердения мартенсита.

Проведённые исследования дают возможность использовать полученные данные при создании новых материалов, при работе пар трения и при обработке ряда материалов резанием.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.А. Маленький, М.А. Жукова, М.В. Яковицкая Фазовый физико-химический анализ твердения мартенсита и изменение его электросопротивления в углеродистых сталях. Сборник: «Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием» 2018, 278-281 с.
2. А.М. Паршин и др. Структура и свойства сплавов.-М.: Металлургия, 1993, 317 с.
3. Э. Гудремон. Специальные стали. Пер. с нем., т.1.-М.: Металлургиздат, 1959, 952 с.
4. Ю.М. Иванов, М.А. Жукова, Е.В. Новиков и др. Физические аспекты твердения мартенсита в инструментальных сталях.- В кн. Повышение качества, надёжности и долговечности изделий из конструкционных, жаропрочных, порошковых и инструментальных сталей и сплавов.- Л.: Изд. ЛДНТП, 1986, с.41-44.
5. Н.А. Филатов, М.А. Жукова. Тепловые эффекты при старении закалённых сталей. Сборник: «Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием» 2017, 241-243с.
6. Ф.Р. Дмитриев М.А. Жукова. Упрочнение боковых граней головок железнодорожных рельсов электронно-лучевой обработкой в воздушной среде. Сборник: «Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием» 2013, 203-205 с.

УДК: 62-113.2

М.Н. Тимофеев, С.Я. Пичхидзе
СГТУ имени Гагарина Ю.А.

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ КУЗНЕЧНОГО МОЛОТА НА ПРИНЦИПАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УСКОРИТЕЛЯ

Введение. Ковка это древнейший метод обработки металлов давлением. Основным вектором развития кузнецкого оборудования было стремление избавится от тяжёлого ручного труда. Уже в Средние Века применялись водяные молоты. С широким использованием паровых машин, а затем электричества кузнецкое дело перешло на новый, куда более качественный уровень. Ковка является одним из главных основных видов обработки металла. Крупные заводы с кузнецким оборудованием используют разнообразные станки, которые могут изготавливать детали в несколько тонн. Небольшие цеха тоже используют современные машины и инструменты.

В зависимости от типа применяемого энергоносителя различают следующие виды описываемых агрегатов:

1. Паровоздушный молот, который использует энергию перегретого пара.
2. Пневматический молот, энергоносителем у которого выступает сжатый воздух.
3. Гидравлический молот, деформирующий заготовку силой потока рабочей жидкой среды (воды или масла).

4. Гидровинтовой молот, где, наряду с энергией жидкости применяется и механическая энергия.

5. Механический молот, для которого реализован принцип непосредственного преобразования потенциальной энергии/работы в кинетическую.

6. Электромагнитный молот, в котором рабочим телом является электромагнитное поле.

Наиболее популярными моделями считаются первые пять видов кузнечных молотов. Электромагнитные молоты имеют ограниченное производство в металлургии и в основном применяются в горном деле и строительстве. Электромагнитный молот в основном представляет собой боек из ферромагнетика, или имеющий вставки ферромагнетика, движущегося в трубе, выполненной из немагнитного материала на котором установлены электромагниты. В статье будет рассмотрен электромагнитный молот, выполненный по схеме электромагнитного ускорителя масс.

Цель работы: рассмотрение конструкции электромагнитного ускорителя масс (ЭмУМ), которую можно использовать в роли кузнечного молота.

Методика исследований: Для расчёта соленоидов использовалась программа FEMM 4.2, импульсный блок питания, мощностью 450 Вт, катушка индуктивности катушка индуктивности ($L_1=1,23$ млГ $Q=0.42$), шесть конденсаторов 470 мФ 200 В, два светодиода, тиристор, отладочная плата STM32F411E-DISCO, цилиндрический снаряд 6x40 мм.

Ёмкостные машины отличаются от электромеханических преобразователей тем что в них используется эффект не электромагнитной, а электростатической индукции [1]. ЭмУМ представляет собой соленоид внутри которого может находиться направляющая сделанная из диэлектрического материала, внутрь которого помещается снаряд из ферромагнетика. При протекании электрического тока в катушке возникает электромагнитное поле, разгоняющее снаряд, втягивающее его внутрь соленоида. При затягивании ферромагнетика на нем создаются полюса, положительные или отрицательные в зависимости от полюсов на катушке. Одно из решений этой проблемы имеет следующий вид: когда снаряд пролетит половину длины соленоида, у него меняются полоса на противоположные и на него начинает действовать тормозящая сила (обратная первоначальной). Чтобы ферромагнитный снаряд вылетал из катушки с требуемой скоростью, нужно не подавать ток в катушку после того как ферромагнетик окажется посередине соленоида, убрать магнитное поле. Для этого используют короткий сильный импульс, создаваемый конденсатором с огромной ёмкостью и большим входным напряжением. Параметры ускоряющих катушек, снаряда и конденсаторов должны быть согласованы таким образом, чтобы при выстреле к моменту подлета снаряда к соленоиду индукция магнитного поля в соленоиде была максимальна, но при дальнейшем приближении снаряда резко падала [2].

Для расчёта параметров работы ЭмУМ можно использовать следующие формулы 1 (кинетическая энергия снаряда) и 2 (энергия запасаемая в конденсаторе):

$$E = \frac{mv^2}{2}; \quad (1)$$

где: m - масса снаряда; v - скорость снаряда.

$$E = \frac{CU^2}{2}; \quad (2)$$

где: U - напряжение конденсатора; C - ёмкость конденсатора.

Можно выделить однокатушечные и многокатушечные схемы ЭмУМ. Однокатушечная (рисунок 1) схема, как более простая в сборке и управлении, была использована для проведения эксперимента. Как видно из представленной схемы ЭмУМ имеет достаточно простую конструкцию, включающую в себя блок питания, соленоид, блок конденсаторов

обеспечивающий быстрый разряд и цепь управления на основе тиристора VS1. В эту схему добавлены две оптопары измеряющих скорость и микроконтроллер для управления получившимся устройством.

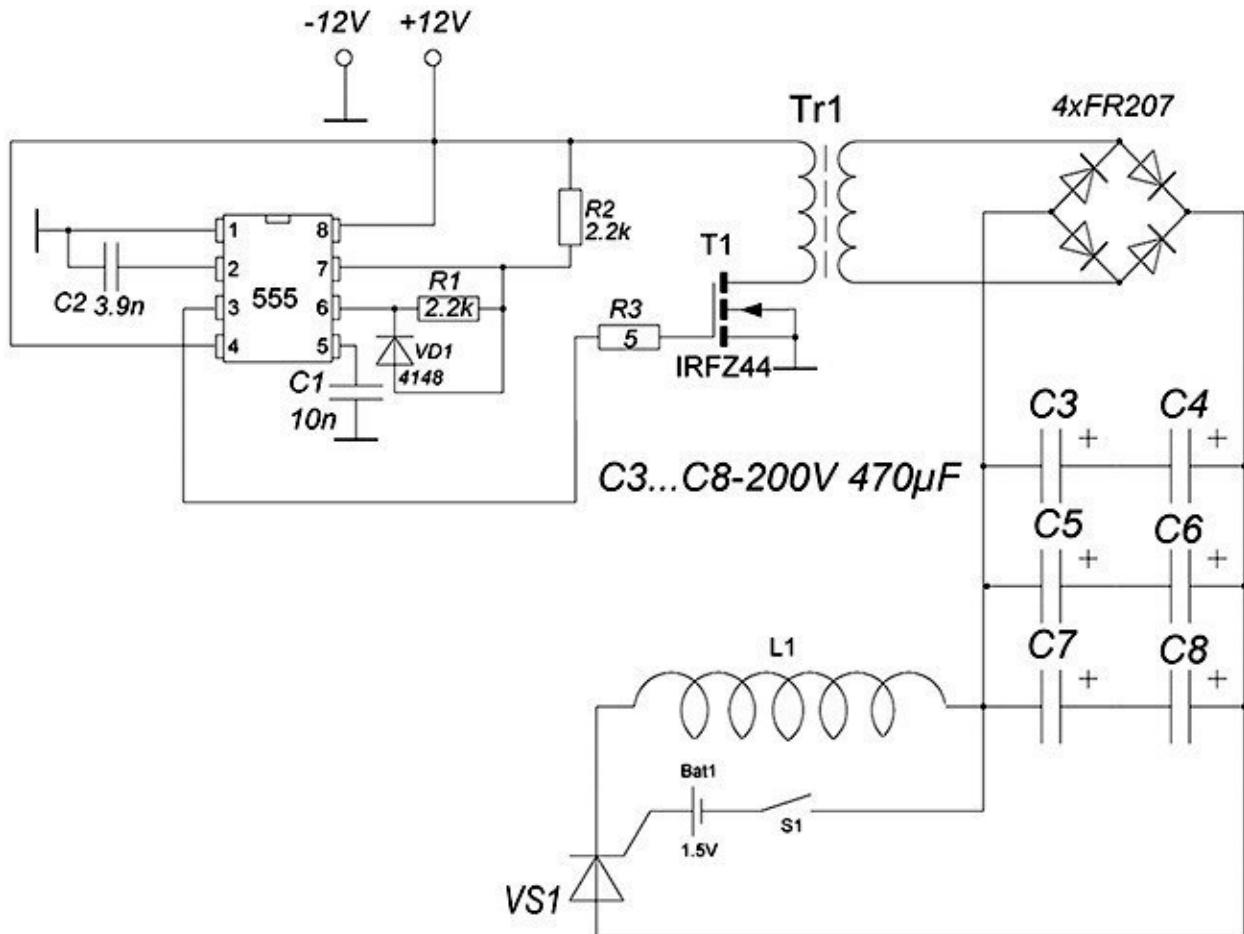


Рисунок 1. Схема однокатушечного ускорителя [3]

Результаты: Проведённый эксперимент показал КПД равное 1,63 % что достаточно мало для кузнечного молота, но в целом конструкция подтвердила свою работоспособность. Для дальнейшей работы выбрана многокатушечная схема ЭмУМ. Для создания кузнечного молота не подходят классические схемы ЭмУМ, так как они рассчитаны на однократный “выстрел” снаряда в одном направлении. Для работы кузнечного молота необходимо менять полярность блока катушек индуктивности что потребует усложнения схемы устройства путём включения дополнительного блока конденсаторов.

К преимуществам описываемого устройства можно отнести:

- отсутствие трения между молотом и стенками направляющей во время удара и соответственно большая износостойкость и надёжность;
- возможность выбора первоначальной скорости и энергии удара за счёт изменения тока и высоты подъёма молота.

Выводы. Рассмотрены принципы действия ЭмУМ и перспектива создания кузнечного молота базе этой технологии Исследована однокатушечная схема ЭмУМ, выявлен низкий КПД использованной схемы, для продолжения работы решено использовать многокатушечный вариант ЭмУМ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бут Д.А. Основы электромеханики /Д.А. Бут. — М. : Издательство МАИ, 1996. — 365 С.
2. Писарев Э.В. Пушка Гаусса [Электронный ресурс]/ ВНКСФ – Электрон.текстовые дан. – Томск.:, 2019 . – Режим доступа: http://asp.ural.ru/VNKSF/Itogi/re_v24/Nauka/Presentation/08/pisarev.pdf, свободный.
3. Электромагнитный ускоритель Гаусса [Электронный ресурс]/ Сайт-ПАЯЛЬНИК 'схем.net' – Электрон. текстовые дан. – М.:, 2019.– Режим доступа: <https://схем.net/tesla/tesla24.php>, свободный.

УДК 621.525.5

С.В. Захаров, М.Т. Коротких, Е.В. Гонибесова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИОНИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОЛИРОВАНИЯ

Введение. Перспективный метод электролитно-плазменного полирования (ЭПП) берет свое начало в XIX веке с работ Н. Слугинова [1-4] и связан с развитием экспериментальных работ по исследованию процессов свечения и нагрева, происходящих вблизи поверхности электрода. В настоящее время этот перспективный метод обработки поверхностей деталей на финишных операциях их технологического процесса обработки до конца не изучен и находится на стадии исследований [5, 6, 7].

Теоретическая часть. По формальным признакам ЭПП совпадает с электролитическим полированием, а отличительными признаками является состав раствора и высокое напряжение (200–400 В), приложенное между обрабатываемыми изделиями (анодом) и вспомогательным электродом (катодом). Как правило, в состав водного раствора входят соли в низкой концентрации (1-10%). Диапазон рабочих температур 40–100 °C.

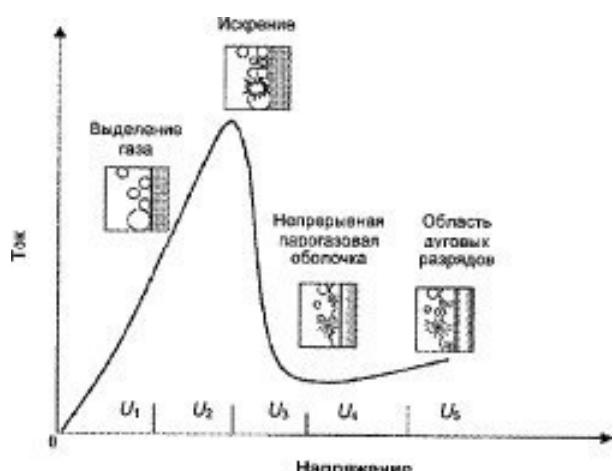


Рисунок 1- Вольтамперная характеристика ЭПП

Для понимания процессов, протекающих вблизи анода при ЭПП и отличия от электролитического полирования, необходимо рассмотреть вольтамперную характеристику (ВАХ) ЭПП (Рисунок 1) в системе «металл-электролит». При повышении напряжения, ток и граница «металл-электролит» имеют различные параметры, можно отметить несколько участков. После подачи напряжения анод поэтапно проходит каждый участок до номинального напряжения. При относительно низких напряжениях (U_1-U_2) кинетика электродных процессов подчиняется закону Фарадея [8]. ВАХ ячейки изменяется в соответствии с законом Ома – повышение напряжения приводит к пропорциональному росту тока.

В данной стадии происходит электролиз, сопровождается выделением кислорода на аноде. Повышение тока ограничено частичным экранирующим воздействием газообразных продуктов на поверхности электрода. В областях, свободных от пузырьков кислорода, где электрод остается в контакте с электролитом, плотность тока продолжает расти, вызывая локальное вскипание электролита, окружающего электрод (рисунок 2) и образование парогазового слоя (ПГО). Увеличение тока приводит к возрастанию тепловыделения, в соответствии с законом Джоуля – Ленца:

$$Q = I^2 R \Delta t$$

где Q – количество выделяемого тепла; I – действующее значение тока; R – сопротивление ПГО; Δt – приращение времени.

В результате, в диапазоне напряжений U_3 , возрастание напряжения приводит к возникновению искровых разрядов в ПГО (Рисунок 3). При приближении к напряжению U_4 электрод полностью окружен непрерывной ПГО с низкой электрической проводимостью. Практически всё напряжение, прикладываемое к ячейке, теперь падает на этом тонком приэлектродном слое. Напряженность электрического поля достигает значения $10^6 - 10^8$ В/м, которого достаточно для начала процессов ионизации ПГО.

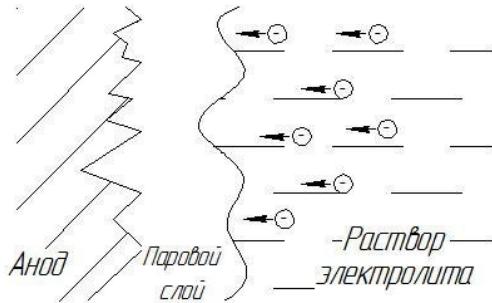


Рисунок 2. Парогазовый прианодный слой (ПГО)

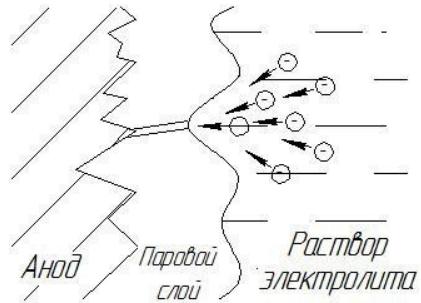


Рисунок 3. Искровые разряды в ПГО

Основным механизмом ионизации является ионно-электронная эмиссия. В случае, если материал анода и анион образуют растворимую соль, неразлагающуюся под действием высокой температуры разряда, налетающие частицы (Рисунок 4) с кинетической энергией, большей некоторой пороговой ($\sim 20-50$ эВ), соударяясь с поверхностью вызывают эмиссию атомов и электронов. При таких энергиях падающий ион передаёт энергию одновременно многим атомам мишени (Рисунок 5), которые, в свою очередь, сталкиваются с другими атомами вещества. В конце серии столкновений наступает локальное равновесное распределение по энергии атомов со средней энергией, равной или превышающей работу выхода атома с поверхности. Большая часть атомов, принявших участие в каскаде столкновений, остаются связанными в твёрдом теле, но один или несколько могут покинуть поверхность [9].

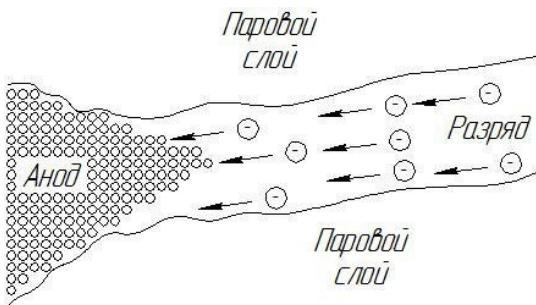


Рисунок 4. Движение частиц в канале искрового разряда

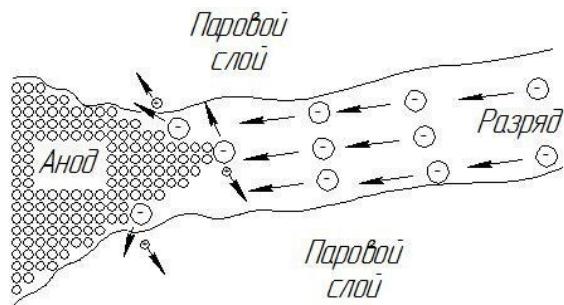


Рисунок 5. Эмиссия атомов с поверхности анода

В результате ударной ионизации высвобождаются катионы анода, которые, в свою очередь, ускоряются в электромагнитном поле и соударяются с атомами газообразного парового слоя. При этом возникает лавинообразное увеличение числа заряженных частиц, поскольку в процессе ионизации образуются новые ионы и электроны, которые также

начинают участвовать в соударениях с атомами, вызывая их ионизацию. Это приводит к образованию тонкого слоя газовой плазмы в паровом слое вокруг анода.

Таким образом, образование газовой плазмы вокруг обрабатываемого анода является следствием процессов, обуславливающих удаление атомов с поверхности анода, и к удалению материала имеет опосредованное отношение.

Практическая часть. Для проверки данного тезиса была осуществлена обработка различных материалов в растворах солей азотной и серной кислоты. В качестве подтверждения тезиса о растворимых солях были выбраны металлы и сплавы исключительно образующие растворимые соли (Таблица 1). В результате обработки практически все сплавы подверглись растворению.

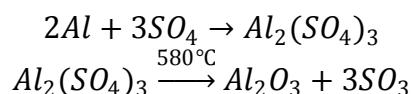
Таблица 1. Результаты обработки различных металлов и сплавов

	A5E	Д16	АМг5	M1	Ц0	Л63	08КП	У12	X99	20Х13	НПА1	08Х18Н10
NO_3^-	Растворение, блеск						Растворение, серый металл	Растворение, блеск				
SO_4^{2-}	Твёрдое покрытие		Растворение, блеск	Растворение, блеск								

С целью подтверждения предложенной модели, растворы электролитов после обработки с известным количеством растворённого вещества подверглись титрованию. Результат подтверждает переход ионов анода в раствор с точностью 99,5% в независимости от материала обработанного анода (АМг5, 08КП, 20Х13), что является прямым подтверждением предложенной модели.

В случае, если металл и анион образуют нерастворимую соль или растворимую соль, разлагающуюся под действием высокой температуры разряда, налетающие частицы при соударении с анодом вступают во взаимодействие с атомами поверхности, затрачивая свою энергию, для преодоления энталпии образования нового вещества. В результате на поверхности анода образуется изменённый слой.

В соответствии с растворимостью солей, в результате обработки алюминия и его сплавов в растворе сульфатов ожидается его растворение. Вместо этого на поверхности образуется твёрдый белый оксид, механизм образования которого [10] в упрощённом виде можно представить следующей реакцией:



Сульфат алюминия разлагается при температуре выше 580°C на γ -модификацию оксида алюминия и серный ангидрид. Таким образом микродуговое оксидирование и электролитно-плазменное один и тот же анодный высоковольтный электрохимический процесс, в своей основе имеющий одно и тоже явление, но разный результат обработки.

Выводы: Предложена ионизационная модель процесса ЭПП, согласующая наблюдаемые явления с физическими принципами взаимодействия веществ как с химической, так и физической точки зрения. Предложенная модель экспериментально подтверждена на различных металлах и сплавах. Результаты экспериментальной проверки модели подтверждены результатами титрования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Разряд гальванического тока через тонкий слой электролита /Слугинов П. Журн. Физ. Общ.Х , 241-243 (1882).
2. О световых явлениях, наблюдавшихся в жидкостях при их электролизе /Слугинов П. Журн. Ф. Х.Общ.Х11, 193-203 (1882).

3. Sluginov P. Reportorium der Exp. phys. XVI 11. 333-339(1882).
4. Об электролитическом свечении /Слугинов П. Журн. Физ. Общ. XV, 232-292(1883).
5. Совершенствование технологии электролитно-плазменного полирования алюминиевого сплава Д16. Захаров С.В., Коротких М.Т. Неделя науки СПбПУ, Санкт-Петербург, 14-19 ноября 2016. С. 162-165.
6. Электролитно-плазменное полирование сложнопрофильных изделий из алюминиевого сплава Д16. Захаров С.В., Коротких М.Т. Вестник концерна ВКО «Алмаз-Антей» №3, 2017. С. 84-87. ISSN 2542-0542.
7. Влияние компонентов раствора электролита на нижнюю границу начала процесса электролитно-плазменного полирования. Захаров С.В., Коротких М.Т., Волков А.А., Марцинкевич И.А. Электрофизические методы обработки в современной промышленности: Материалы II Международной научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов (18-20 декабря 2018 г.). Издательство ПНИИПУ. С. 122-128.
8. Электролитно-плазменная обработка: моделирование, диагностика, управление: монография / Парфёнов Е.В., Невьянцева Р.Р., Горбатков С.А., Ерохин А.Л. – М.: Машиностроение, 2014. – 380 с. ISBN 978-5-94275-732-8.
9. Discharges and Materials Processing. Lieberman M. A., Lichtenberg A. J. Principles of Plasma – John Wiley & Sons, 2005. ISBN 0-471-72001-1.
10. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Под общей редакцией И.В. Суминова. В 2-х томах. Том II. Москва: Техносфера, 2011. — 512 с. ISBN 978-5-94836-266-3 (общ.), ISBN 978-5-94836-268-7 (т. II).

СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

УДК 621.9

Н.Ю. Ковеленов, П.В. Бурдин, К.В. Тырина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ С ПОМОЩЬЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТРУЖКИ НА ОПТИЧЕСКОЙ ТРЕХКООРДИНАТНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ

Актуальность. Изучение механики резания невозможно без углубленного исследования процесса формирования стружки, как процесса больших неоднородных пластических деформаций, протекающих в зоне резания [1]. Основные методы исследования направлены на определение степени пластической деформации срезаемого слоя при трансформации его в стружку. С этой целью измеряются геометрические параметры стружки и рассчитываются коэффициенты укорочения стружки, утолщения и уширения. Методы не дают требуемой точности, т.к. не учитывают неоднородность деформации и дискретность стружкообразования. Кроме того, картины стружкообразования получаются плоскими, что не дает представления о явлениях, происходящих в объеме сходящей стружки.

Отделенная от заготовки стружка обладает большой информативностью о процессах, происходящих при резании и детальный ее анализ, несомненно, полезен для решения вопросов стружкообразования. В статье предложен метод исследования, предполагающий получение объемной модели стружки путем ее непосредственного сканирования на измерительной машине с целью дальнейшего геометрического анализа.

Цель исследования. Целью данной работы является разработка нового метода измерения параметров стружки с применением бесконтактных измерительных систем.

Задачи исследования. Получение трехмерных моделей различных вариаций стружки, соответствующих определенным условиям токарной обработки. Измерение геометрических параметров стружки с помощью построения сечений на моделях. Сравнение полученных значений параметром стружки со значениями, рассчитанными по методике Силина С.С.

Метод исследования. Для сканирования элементов стружки был использован оптический прибор Infinite Focus-Edge Master компании Alicona, предназначенный для автоматического 3D измерения режущего инструмента. Измерительная система может получать и обрабатывать до 1 700 000 миллионов точек в секунду, сшивать их и получать 3D форму реальной поверхности детали.

Для исследования была собрана стружка после токарной обработки цилиндрической заготовки из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т пластиной фирмы ООО «Вириал» VCMT 160408E-SM из сплава VHS1013 с покрытием PVDTiAlN при варьировании глубины резания в диапазоне от 0,5 мм до 3 мм с шагом 0,5 мм и подачи в диапазоне от 0,1 мм/об до 0,3 мм/об с шагом 0,1 мм/об. Скорость резания была принята 120 м/мин. Обработка производилась с СОЖ.

Далее типовые сегменты стружек были просканированы с помощью оптического прибора (рисунок 1). Для измерения стружки использовался моторизованный блок вращения и объективное увеличение 5Х. Элементы закреплялись в трехкулачковый патрон. Стружка сканировалась в режиме поворота блока (патрона) на 30°, среднее время сканирования и сшивка одной штуки составило 16 минут.

На базе полученных трехмерных моделей сегментов стружек проведено измерение толщины стружки a_2 и ширины стружки b_2 с помощью построения ряда сечений в программе

AliconaMeX. Для получения усредненных значений толщины стружки измерялась как в плоскости сечения, соответствующая вершинам элементов суставчатой стружки, так и в плоскости сечения, соответствующая впадинам элементов суставчатой стружки [2] (рисунок 2). Для каждого из отмеченных сечений определялось среднее значения a_2 путем ее измерения не менее, чем в 8 точках по ширине стружки b_2 (рисунок 3). Измерение ширины стружки b_2 производилось не менее, чем в 5 точках по длине сканированного сегмента.

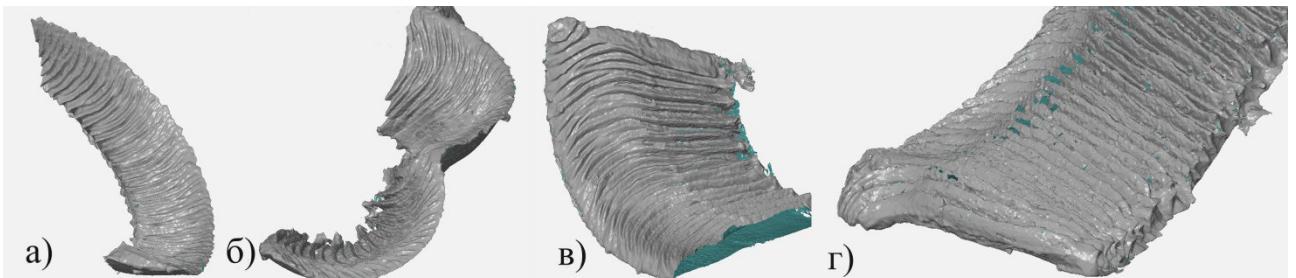


Рисунок 1. Примеры полученных трехмерных моделей сегментов стружки:

- а) при $t=0,5$ мм, $s=0,2$ мм/об; б) при $t=1,5$ мм, $s=0,2$ мм/об;
- в) при $t=2,0$ мм, $s=0,2$ мм/об; г) при $t=3,0$ мм, $s=0,2$ мм/об



Рисунок 2. Схема к определению толщины суставчатой стружки по вершинам $a_2_{\text{верш}}$ и впадинам $a_2_{\text{впад}}$ сформированных элементов

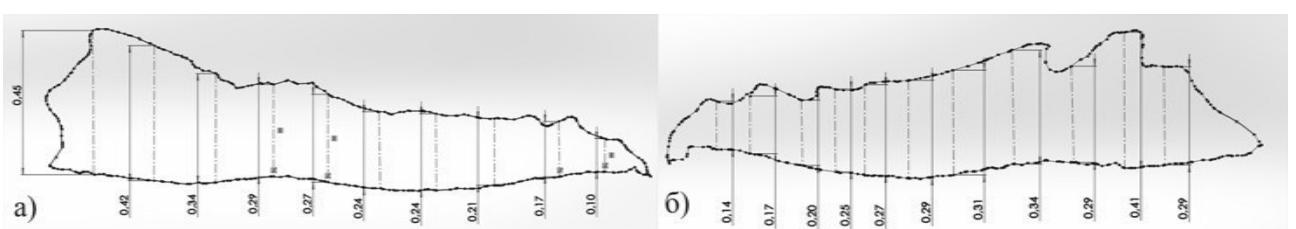


Рисунок 3. Схема к измерению толщины стружки по ширине b_2 на примере сечений, построенных для стружки, соответствующей режимам резания $-t=1,5$ мм и $s=0,2$ мм/об: а) сечение по вершине элемента суставчатой стружки; б) сечение по впадине элемента суставчатой стружки.

Результаты. В результате проведенного исследования для различных сегментов стружек получены усредненные значения толщины $a_{2\text{ср.верш}}$, $a_{2\text{ср.впад}}$, соответствующие измерениям по вершине и впадине элементов суставчатой стружки, и среднее значение $a_{2\text{ср}}$ из высказанных, а также усредненные значения ширины $b_{2\text{ср}}$. Для сравнения с полученными значениями были использованы аналитические формулы расчета ширины и толщины стружки, предложенные в работе [3, стр. 9-10]. Результаты измерений

соответствующим им аналитически рассчитанные значения, а также относительные отклонения ($\Delta_{a2} = \frac{a_{2cp} - a_{2расч}}{a_{2cp}} \cdot 100\%$, $\Delta_{b2} = \frac{b_{2cp} - b_{2расч}}{b_{2cp}} \cdot 100\%$) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Усредненные значения толщины и ширины стружки в зависимости от режимов резания (глубина резания, подача на оборот), измеренные по 3Дсканам реальных стружек, и соответствующие им аналитические значения

t, мм	S _{об} , мм/об	a _{2ср.верш.} , мм	a _{2ср.впад} , мм	a _{2ср} , мм	b _{2ср} , мм	a _{2расч.} , мм	b _{2расч.} , мм	Δ_{a2} , %	Δ_{b2} , %
0,5	0,1	0,13	0,11	0,12	0,91	0,11	0,93	3,0	2,65
0,5	0,2	0,2	0,19	0,19	1,04	0,21	0,97	4,7	7,0
0,5	0,3	0,28	0,24	0,26	1,15	0,27	1,01	3,5	12,2
1,5	0,1	0,24	0,15	0,195	1,9	0,18	2,0	7,6	5,0
1,5	0,2	0,29	0,25	0,27	1,85	0,3	2,05	12,6	11,0
1,5	0,3	0,48	0,32	0,4	1,92	0,41	2,1	2,0	9,8
2,0	0,1	0,21	0,16	0,19	2,35	0,19	2,5	0,6	6,55
2,0	0,2	0,34	0,24	0,29	2,29	0,31	2,55	8,4	11,5
2,0	0,3	0,45	0,42	0,43	2,35	0,43	2,6	1,4	10,9
3,0	0,1	0,21	0,18	0,195	3,09	0,19	3,51	2,6	13,4
3,0	0,2	0,39	0,26	0,32	3,1	0,33	3,56	0,4	14,7
3,0	0,3	0,46	0,47	0,47	3,29	0,45	3,61	4,5	9,7

Выводы. Применен новый метод исследования параметров процесса резания при токарной обработке с помощью геометрического анализа стружки на оптической трехкоординатной измерительной машине.

Результаты хорошо согласуются с представлениями о физической природе стружкообразования, сформулированными в работе [1]. Переменные вдоль режущей кромки инструмента значения толщины срезаемого слоя a_1 в совокупности с изменяющейся геометрией стружкозавивающей поверхности и неравномерной жесткостью деформации являются основными факторами, обуславливающими боковое завивание стружки.

Установлено, что при моделировании процесса резания необходимо учитывать существенное изменение геометрии стружки по ее ширине и длине.

С помощью предложенного метода измерения стружки, возможно уточнение расчетных методик определения параметров резания и дальнейшее развитие работ по прогнозированию дробления и завивания стружки [1].

ЛИТЕРАТУРА:

- Компьютерное прогнозирование и системный анализ причинно-следственных связей процессов образования, завивания и дробления сливной стружки / Михайлов С.В. – Кострома: изд. КГТУ, 2009 – 159 с.
- Деформирование срезаемого слоя в условиях перехода от сливной к образованию суставчатой стружки при точении жаропрочных сталей и сплавов / Ю.И. Некрасов. – Тюмень: Изд-во тюменского государственного нефтегазового университета, 2010 г. – С. 54-58.
- Метод подобия при резании материалов / Силин С.С. – М.: Машиностроение, 1979. – 152 с., ил.

УЛУЧШЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРИ РАБОТЕ ПЕРИФЕРИЕЙ И ТОРЦЕМ ФРЕЗЫ

Актуальность. В современном энергетическом машиностроении и двигателестроении для крепления лопаток к дискам турбин используются разнообразные хвостовики: Т образные, вильчатые, грибовидные, елочные, трапециевидные и др. При этом, елочные хвостовики отличаются повышенной несущей способностью и могут применяться для самых длинных лопаток последних ступеней паровых и газовых турбин, работающих при больших температурах (до 700°C) и напряжениях в стыке порядка 100-180 МПа [1, 2]. Для обеспечения достаточной несущей способности и во избежание появления концентраторов напряжений, поверхности пазов в дисках должны быть обработаны с высокой точностью размеров (допуски порядка 0.03-0.05 мм) и малой шероховатостью Ra 1.6 [3]. В этих условиях важно минимизировать вибрации при чистовой обработке пазов для обеспечения заданной точности.

Цель работы. Получение математической модели, описывающей колебания силы резания при одновременной работе периферией и торцем фасонной фрезы.

В качестве примера рассмотрим процесс чистового фрезерования елочного паза с номером профиля 2132 [3], чертеж которого представлен на рисунок 1. В настоящее время принятая схема обработки, при которой в начале снимается припуск по каждой из боковых сторон h_b в отдельности, а затем припуск по дну (торцу) h_m паза.

Для получения математической модели, описывающей колебания силы резания при одновременном фрезеровании одной из боковых сторон и дна, представим сложную форму елочного паза в форме паза прямоугольного с тем же периметром (рисунок 2). Глубина паза на линеаризованной схеме $H \approx 77$ мм соответствует длине исходной профильной образующей, а ширина $b_4 = 19,3$ мм – исходной ширине дна паза n_4 без учета скругления (обработка по одной стороне).

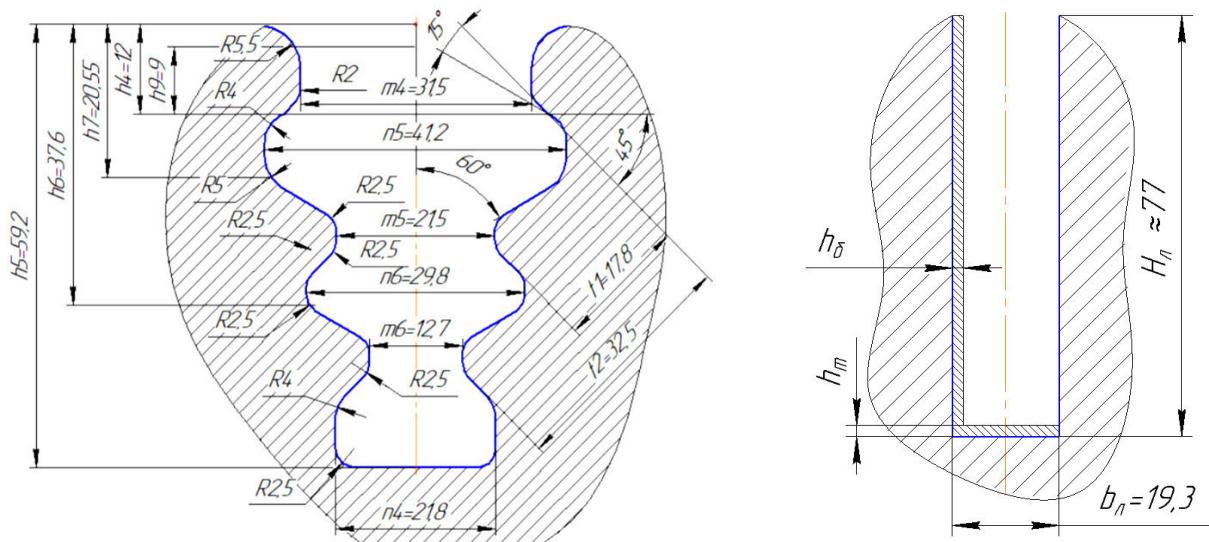


Рисунок 1. Профиль паза 2132

Рисунок 2. Линеаризованная схема паза

Поскольку с использованием линеаризованной схемы обработка фасонной фрезой заменяется на обработку концевой фрезой, то усилие резания, создаваемое периферийными режущими кромками, может быть рассчитано по методике, описанной в [4]. Угол контакта меняется от 0 до максимального значения $\psi_{max,n}$ и может быть выражен через мгновенный угол поворота фрезы φ_i . Тогда сила резания, действующая на k -й зуб фрезы, находящийся в зоне обработки, в i -й момент времени составит:

$$P_{i,k}^{\Sigma\Pi} = p \cdot B_{\Pi} \cdot S_z \cdot \sin(\varphi_i - k \cdot \psi_0); k = 0,1 \dots z-1, \quad (1)$$

где p – удельная сила резания, Н/мм²;

B_{Π} – ширина фрезерования периферийными кромками, мм;

S_z – подача на зуб фрезы, мм/зуб;

z – число зубьев фрезы;

ψ_0 – угловой шаг зубьев, град. $\psi_0 = 360^\circ/z$.

Суммарная сила резания по всем периферийным кромкам зубьев в каждый момент времени i , которому соответствует угол поворота фрезы φ_i :

$$P_i^{\Sigma\Pi} = \sum_k P_{i,k}^{\Sigma\Pi} \quad (2)$$

Формула (1) была получена на основе модели цилиндрического фрезерования, применительно к работе периферией концевой фрезы. В ней под шириной фрезерования следует понимать длину лезвия зуба фрезы, участвующую в резании и измеряемую параллельно оси инструмента. В рассматриваемом случае она будет равна глубине паза, т.е. $B_{\Pi} = H_{\Pi} = 77$ мм.

Усилие резания, создаваемое торцевыми кромками, может быть рассчитано аналогичным образом, с учетом подстановки в формулу (1), величины B_m , измеряемой перпендикулярно оси фрезы и равной в таком случае ширине паза b_{Π} :

$$P_{i,k}^{\Sigma T} = p \cdot B_m \cdot S_z \cdot \sin(\varphi_i - k \cdot \psi_0); k = 0,1 \dots z-1, \quad (3)$$

где B_m – ширина фрезерования торцевыми кромками, мм. $B_m = b_{\Pi}$.

Суммарная сила резания по всем торцевым кромкам зубьев в каждый момент времени i , которому соответствует угол поворота фрезы φ_i :

$$P_i^{\Sigma T} = \sum_k P_{i,k}^{\Sigma T} \quad (4)$$

Максимальный угол контакта при торцевом фрезеровании $\psi_{max,m}$ в рассматриваемом случае составит 180°, поскольку предлагается фрезеровать паз на всю ширину. Поэтому в каждый момент времени хотя бы один зуб фрезы будет находиться в зоне обработки, сила резания не будет падать до нуля и вибрационная активность процесса уменьшится.

Суммарная сила резания при фрезеровании периферией и торцем, поскольку направления ее компонентов неизвестны, может быть вычислена как:

$$\overrightarrow{P_i^{\Sigma}} = \overrightarrow{P_i^{\Sigma\Pi}} + \overrightarrow{P_i^{\Sigma T}} \quad (5)$$

С учетом (1) – (4) в среде MathCAD была написана программа, графически показывающая колебания силы резания $P_i^{\Sigma\Pi}$ и $P_i^{\Sigma T}$, Н в зависимости от угла поворота фрезы φ_i , °. Исходные параметры: $p = 3000$ Н/мм² [5]; $S_z = 0.05$ мм/зуб [6]; ширина фрезерования $B_{\Pi} = H_{\Pi} = 77$ мм, $B_m = b_{\Pi} = 19.3$ мм; глубина резания $t_n = h_0 = 0.5$ мм, $t_m = h_m = 1$ мм; диаметр фрезы $D = b_{\Pi} = 19.3$ мм, число зубьев $z = 3$; подача встречная. Результаты расчетов и построений показаны на рисунке 3.

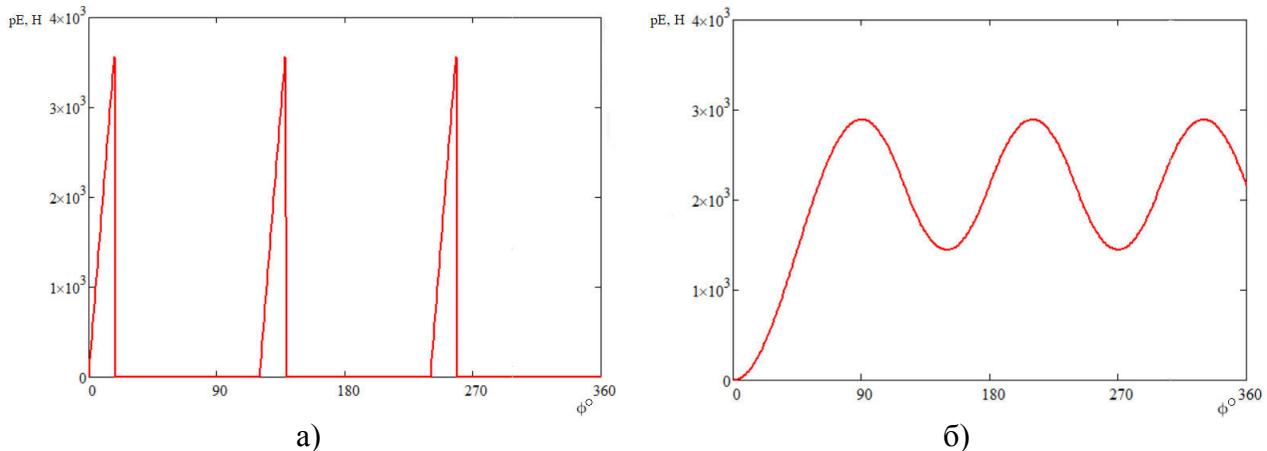


Рисунок 3. Сила резания при фрезеровании: а) периферией б) торцем

Выводы. Как видно из расчетов и графиков на рисунке 3, при одновременной работе периферией и торцем концевой фрезы суммарная сила резания не опускается до нуля, поэтому «ударность» процесса будет меньше и вибрации снизятся.

Рассмотренная линеаризованная модель является только первым приближением существующего процесса фрезерования и в дальнейшем может быть развита с учетом направлений мгновенных составляющих суммарной силы резания и сложного профиля паза.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жирицкий Г.С., Стрункин В.А. Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин. М.: Машиностроение, 1968. 520 с.
2. Иоселевич Г.Б. Концентрация напряжений и деформаций в деталях машин. М.: Машиностроение, 1981. 224 с.
3. Руководящие документы по стандартизации "Выбор конструкции, предельных отклонений размеров и параметров шероховатости основных конструктивных элементов лопаток осевых турбомашин при проектировании" от 01.01.1988 № РД 24.260.09-87 // Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова (НПО ЦКТИ), 1988 г.
4. Адмакин М.А., Баранов М.А., Быченко Д.А. Колебания силы резания при фрезеровании концевыми фрезами // Научный потенциал молодежи и технический прогресс: мат-лы II междунар. науч.-практ. конф. 17 мая 2019 г. – СПб., 2019. – с. 21-23.
5. Sandvik Coromant. Вращающиеся инструменты. Фрезерование, сверление, растачивание, инструментальная оснастка. 2017. URL: <http://www.lab2u.ru/rezhimy-rezaniia-sandvik-pri-frezerovanii-smaloi-shirinoi-kontakta-iso-n-udelnaiia-sila-rezaniia-tverdost-po-brinelliu-marki-rezhushchego-materiala-cd10-katalog-sandvik-coromant-2017-instrument-vrashchayushchiisya-str-i152-0156-lab2u.html> (дата обращения: 11.10.2019).
6. Шифрин А.Ш., Резницкий Л.М. Обработка резанием коррозионностойких, жаропрочных и титановых сталей и сплавов / Под ред. канд. техн. наук Л.М. Резницкого. М., Л.: Машиностроение, 1964. 447 с.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА УМЕНЬШЕНИЕ ВИБРАЦИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ НАКЛЕПЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Актуальность. В современном машиностроении большинство операций обработки резанием наружных поверхностей не тел вращения выполняется фрезерованием. В частности, концевыми фрезами обрабатываются различные уступы; пазы, в том числе Т образные, типа «ласточкин хвост», трапецидальные и елочные. С использованием концевых фрез на станках с ЧПУ производится обработка сложных контурных и профильных поверхностей. Вместе с тем, к таким поверхностям предъявляются высокие требования по точности размеров и качеству поверхностного слоя. Однако процесс фрезерования в силу своей природы (прерывающийся контакт инструмента и заготовки, ударные нагрузки, переменная площадь среза) неизбежно связан с появлением тех или иных вибраций, снижающих качество обработки. Таким образом, задача улучшения равномерности фрезерования и уменьшения вибраций является весьма актуальной.

Цель работы. Проанализировать имеющиеся данные о влиянии физико-механических характеристик обрабатываемых материалов и режимов резания на динамику процесса фрезерования и сформулировать соответствующие рекомендации.

Любой вид обработки резанием ввиду силового воздействия инструмента на заготовку сопровождается образованием зоны упрочнения несколько впереди режущих кромок и упрочненной области под обработанной поверхностью. Данное явление, связанное со структурным деформированием обрабатываемого материала, получило название наклеп. Наклепу подвержены высокопластичные металлы и сплавы; причем чем выше пластичность материала, тем больше его надо деформировать, чтобы произошло отделение стружки. Среди таких материалов можно отметить стали аустенитного класса (45Г17Ю3), титановые и жаропрочные сплавы (ХН77ТИОР/ЭИ437, ХН70ВМТЮ/ЭИ617, ХН70ВМТЮФ/ЭИ826, ХН55ВМТКЮ/ЭИ929) и др., применяемые в энергомашиностроении и аэрокосмической отрасли. При наклете поверхностные слои материала значительно увеличивают свою прочность и твердость. Так для аустенитных сталей увеличение твердости достигает 100-225% [1], то есть более чем в два раза по сравнению с исходными значениями.

Работа лезвия инструмента внутри наклепанного слоя большой твердости и прочности неизбежно ведет к усиленному износу, особенно по задней грани. Появление и разрастание фаски износа способствует увеличению сил трения (следовательно, и сил резания), большему давлению инструмента на заготовку (следовательно, еще большему наклепу), некоторому «проскальзыванию» режущей кромки. Все это в совокупности вызывает вибрации в процессе обработки и способствует их усилинию.

Поэтому первой рекомендацией по уменьшению вибраций является некоторое (в пределах 0.1-1 мм) увеличение глубины фрезерования t с целью проникновения режущих кромок под наклепанный слой, образованный на предыдущих этапах обработки, и снятие его. Величина наклепанного слоя, образующегося при фрезеровании, в литературе описана сравнительно мало и зачастую оценки являются весьма противоречивыми. Так глубина наклепа при фрезеровании сплавов ЭИ617, ЭИ826, ЭИ929 оценивается в пределах 0.065-0.080 мм [2], при фрезеровании стали 45Г17Ю3 – 0.3 мм [1]; в целом же может достигать 5-6 мм [3]. Такие существенные различия в оценках, вероятно, связаны с колебаниями свойств высоколегированных заготовок и заведомо «щадящими» режимами резания.

Экспериментальные данные, представленные на рисунках 1 [1] и 2 [5], свидетельствуют о небольшом увеличении величины наклена и значительном уменьшении амплитуды вибраций при увеличении глубины резания. Графики на рисунке 1 получены для случая точения заготовки из сплава ХН77ТЮР, однако сходные зависимости могут быть получены и для фрезерования. Таким образом, увеличение глубины резания t для уменьшения вибраций обосновано.

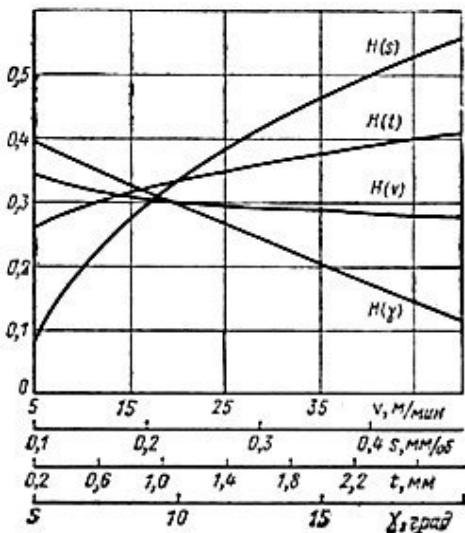


Рисунок 1. Влияние режимов резания на глубину наклена

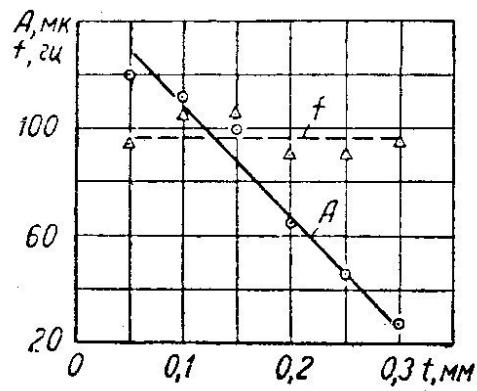


Рисунок 2. Зависимость амплитуды и частоты колебаний от глубины резания

Следующей рекомендацией для уменьшения вибраций является уменьшение подачи на зуб фрезы S_z , так как движение подачи оказывает непосредственное силовое воздействие на поверхностный слой заготовки. Поэтому при увеличении величины подачи растет глубина наклена (см. рисунок 1, [3]), а также усиливается «ударность» фрезерования, значительно увеличиваются силы резания, что негативно влияет на вибрационную активность процесса. Снижение амплитуды вибраций при фрезеровании после уменьшения подачи подтверждается данными [4]. В то же время, при чересчур малых подачах лезвие будет проскальзывать по заготовке и наклен несколько увеличится. Таким образом, зависимость глубины наклена от подачи при фрезеровании носит экстремальный характер и для каждого материала можно определить оптимальное значение S_z . Так для ХН77ТЮР она составит 0.15 мм/зуб [2].

Выбор направления подачи (рисунок 3) при работе концевыми фрезами не является таким однозначным, как, допустим, при цилиндрическом фрезеровании, когда при встречном направлении подачи силы резания стремятся оторвать заготовку от стола, тем самым вызывая вибрации. Поскольку концевыми фрезами, в основном, обрабатываются боковые поверхности заготовок или пазы, то направление подачи необходимо выбирать таким образом, чтобы сила резания способствовала прижатию заготовки к приспособлениям, то есть была, по возможности, направлена в сторону точек крепления.

При встречном фрезеровании режущая кромка входит в материал с нулевой толщиной среза (см. рисунок 3, *a*), что вызывает некоторое проскальзывание, повышенный износ инструмента и дополнительный наклен поверхности. Однако при этой схеме, поскольку сила резания направлена навстречу движению подачи, зазоры и люфты в приводе стола станка всегда выбраны. При попутном фрезеровании (см. рисунок 3, *б*) условия резания более благоприятные, снимается более толстая и короткая стружка, уменьшается удельная сила

резания. Однако, поскольку сила резания совпадает с направлением подачи, то необходимо стремиться к увеличению числа одновременно работающих зубьев, во избежание рывков стола станка [5]. Преимущество попутной подачи больше проявляется при малых скоростях резания и сравнительно больших для наклепываемых сплавов подачах на зуб $S_z = 0.2$ мм/зуб и значительно меньше при тонком срезе $S_z = 0.08$ мм/зуб [6].

Таким образом, при работе концевыми фрезами, во избежание вибраций, встречную подачу следует рекомендовать для сравнительно нежестких технологических систем (старые станки классической компоновки) и при работе на малых подачах, попутную подачу – для жестких технологических систем, при работе с большими подачами и числом одновременном работающих зубьев фрезы $i_z \geq 2$.

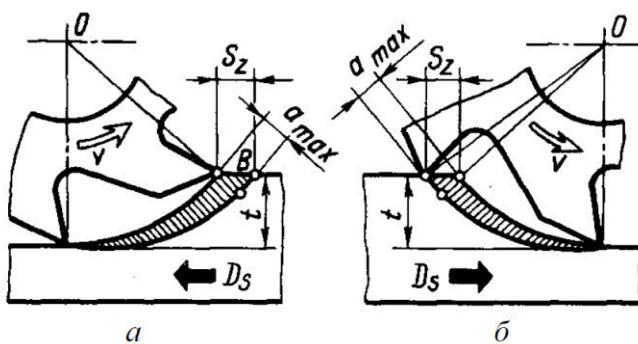


Рисунок 3. Схемы фрезерования: *а* – встречное фрезерование, *б* – попутное

Влияние скорости резания V на вибрации при концевом фрезеровании нельзя назвать однозначным. С одной стороны, увеличение скорости резания больше 60 м/мин согласно [4] уменьшает амплитуду вибраций и может быть рекомендовано для ряда сталей и сплавов. Однако наклепываемые стали и сплавы обрабатываются со скоростями не выше 20-25 м/мин. Увеличение скорости резания в этом случае приведет к некоторому уменьшению глубины наклена (см. рисунок 1) из-за интенсификации тепловых процессов, способствующих восстановлению структурно-деформированного слоя, но стойкость инструмента значительно снизится, а вибрации могут даже увеличиться [4].

Выходы. Был проведен анализ имеющихся опытных данных о влиянии режимов резания при фрезеровании на физико-механические характеристики наклепываемых материалов и вибрационную активность. Даны рекомендации по увеличению глубины резания t , уменьшению подачи S_z и выбору ее направления, которые вместе с описанной в [7] моделью расчета суммарной силы резания и корректированного угла наклона режущих кромок фрезы ω могут значительно способствовать уменьшению вибраций.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Райхельсон В.А. Обработка резанием сталей, жаропрочных и титановых сплавов с учетом их физико-механических свойств. М.: Техносфера, 2018. 508 с.: ил.
2. Сулима А.М., Евстигнеев М.И. Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных и титановых сплавов. М.: Машиностроение, 1974. 256 с: ил.
3. Технология металлов и других конструкционных материалов / Н.П. Дубинин, Н.Н. Лиференко, А.Д. Хренов и др.; под ред. Н.П. Дубинина. М.: Высшая школа, 1969. 704 с.: ил.
4. Исаев А.И., Койре В.Е., Зубковская З.Н. Чистовая обработка плоскостей крупногабаритных деталей. Киев: Гос. изд-во техн. лит-ры УССР, 1962. 117 с.: ил.
5. Резание материалов и режущий инструмент: метод. пособие / сост. В.Н. Козлов, реценз. В.Ф. Скворцов. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 131 с.: ил.

6. Вульф А.М., Подпоркин В.Г. Проблемы обрабатываемости высокопрочных сталей и сплавов / Труды ЛПИ. Машиностроение. 1967. №282. с. 325-346.
7. Адмакин М.А., Баранов М.А., Быченко Д.А. Колебания силы резания при фрезеровании концевыми фрезами // Научный потенциал молодежи и технический прогресс: мат-лы II межд. науч.-пр. конф. 17 мая 2019 г. СПб., 2019. с. 21-23.

УДК 681.7.023.73

И.С. Савельев, В.И. Слатин
Санкт-Петербургский политехнический институт Петра Великого

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С УСТУПАМИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ НА ДЛИННОБАЗОВОМ ПРОФИЛОМЕТРЕ

Ранее нами была разработана процедура определения формы и шероховатости цилиндрических поверхностей на основе измерений производимых на длиннобазовых профилометрах (в дальнейшем LTP - Long Trace Profilmeters) для мастер шаблонов рентгеновской оптики [1]. В процессе реконструкции широко использовалась фильтрация исходных данных с помощью которой подавлялась как высокочастотная составляющая по шероховатости поверхности так и средне частотная составляющая, обусловленная биениями вала механизма перемещения профилометра. Эта фильтрация производилась с помощью полиномиальных фильтров по хорошо известному методу Савицкого-Голея. При этом возникали проблемы при обработке резких уступов. Проблема обработки сигналов с резко меняющейся формой хороша известна, однако до недавнего времени отсутствовало эффективное решение этой задачи.

Относительно недавно был разработан новый высокоэффективный алгоритм решения описанной проблемы [2, 3], который существенно расширяет возможности фильтрации с помощью полиномов. Принципиальным моментом нового алгоритма является использование статистических данных как по обрабатываемому сигналу так и по свойствам получаемых в процессе обработки сглаживающих полиномов. Ключевыми моментами алгоритма являются следующие соображения:

– Для аппроксимации используются не только точки расположенные в центре окна фильтра, но и точки на периферии аппроксимирующего полинома.

– Для каждой точки проверяется эффективность большого количества различных аппроксимирующих полиномов, различающихся степенью, шириной окна и положением аппроксимирующей точки в окне.

– Из полученного семейства решений устраняются неадекватные полиномы, а из оставшихся полиномов для аппроксимации отбирается полином, дающий в аппроксимируемой точке наименьшее значение доверительного интервала для предсказанного значения отклика в данной точке.

Результат применения разработанной процедуры проиллюстрируем обработкой модельного ступенчатого профиля. Исходный профиль состоит из 250 точек. На нем имеется разрыв монотонности Y при значении X = 8.97. Вне зоны скачка линия графика представляет собой примерно полиномиальную функцию. На описанную исходную зависимость наложен гауссовский шум с постоянной дисперсией и небольшое гармоническое возмущение.

Для иллюстрации проблем возникающих при использовании практически любого известного фильтра при обработке таких функций на рисунке 1 показан результат фильтрации зашумленного профиля полиномиальным фильтром 3 порядка с шириной окна 8 точек. Кроме того для большей наглядности на рисунке 1 показана разность между результатом фильтрации и исходным профилем. На графике этой разности отчетливо

проявляются проблемы, связанные с использованием традиционных подходов: «подрезание» скачка профиля и недостаточная (при выбранной ширине окна) фильтрация возмущений на монотонной части профиля. При этом можно улучшить аппроксимацию монотонной части путем увеличения ширины окна, но это приведет к резкому ухудшению в области скачка. И наоборот, попытки улучшить аппроксимацию скачка за счет уменьшения окна и увеличения степени полинома ухудшат сглаживание на монотонной части. Для иллюстрации этих эффектов на рисунке 2 приведены те же профили, но с параметрами фильтра: степень полинома - 3, ширина окна - 25 точек.

Применение описанного выше адаптивного полиномиального фильтра в значительной степени снимает описанные проблемы. Для иллюстрации эффективности применения такого фильтра на рисунке 3 приведен результат обработки того же профиля, что был представлен на рисунках 1-2. Профиль, полученный в результате фильтрации, практически сливается с исходным не зашумленным профилем. На рисунке 3 так же представлены разности между исходным не зашумленным профилем и фильтрованным и между зашумленным профилем и фильтрованным. Первый график очень близок к прямой, идущей вдоль оси, что подтверждает высокий уровень тождественности результата фильтрации исходному профилю. Последняя же разность практически тождественна, наложенному шумовому сигналу. Следует отметить, что небольшие различия в монотонной части профиля между исходным и фильтрованным профилем можно было бы уменьшить, увеличив ширину окна.

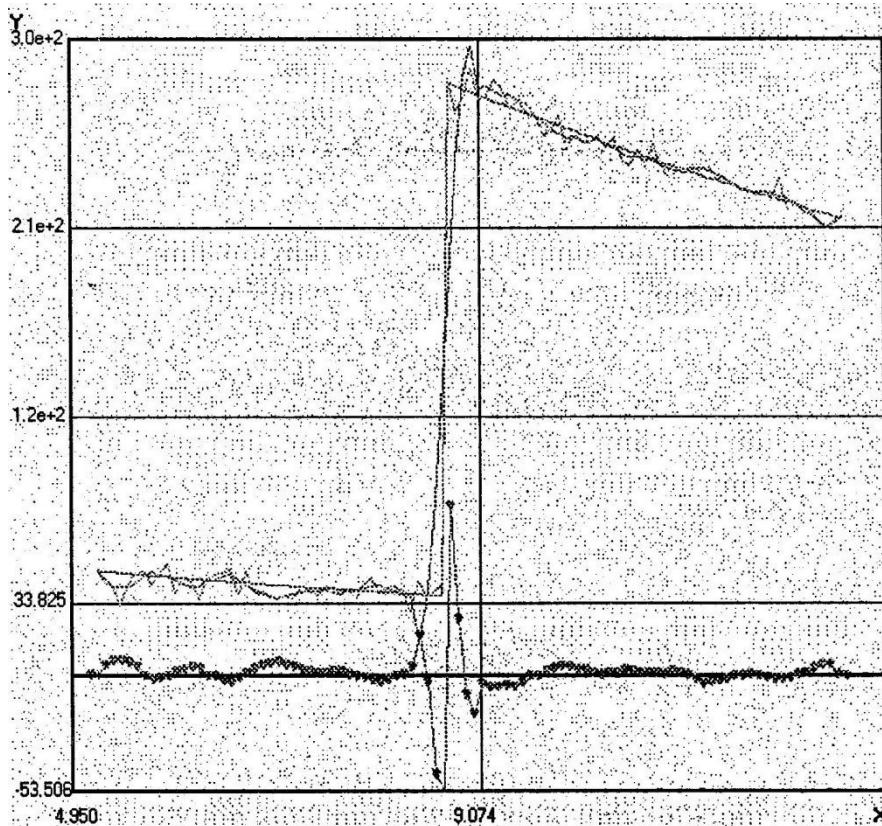


Рисунок 1. Результат фильтрации обычным полиномиальным фильтром
степень полинома -3, ширина окна - 8 точек

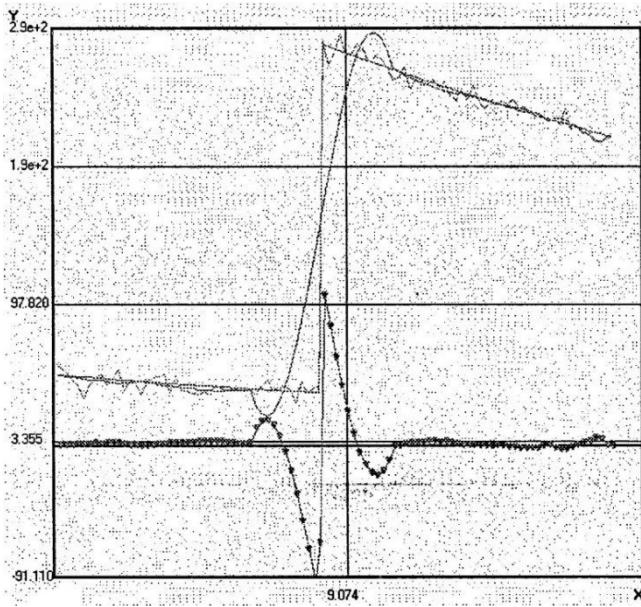


Рисунок 2. Результат фильтрации обычным полиномиальным фильтром
степень полинома - 3, ширина окна - 25 точек

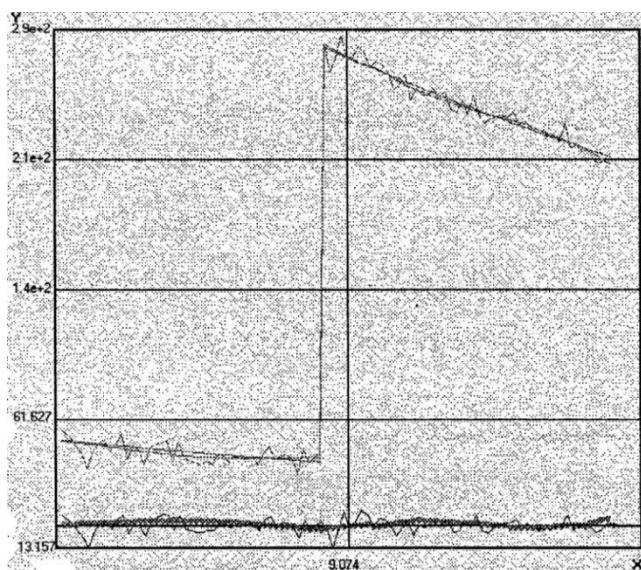


Рисунок 3. Результат применения адаптивного фильтра.
Степень фильтрующего полинома - 3, ширина окна в диапазоне от 10 до 90 точек

Описанный подход реализован в программном коде, встроенным в ранее разработанное программное обеспечение технологического сопровождения процедуры реконструкции поверхности, что позволило резко улучшить качество обработки резких перепадов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. И.С. Савельев. «Реконструкция формы прецизионной поверхности подложки отражательной рентгеновской оптики по результатам измерений на одно координатной измерительной машине» // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования — М. Изд-во: Майк «Наука/интерпериодика», 2011 (6), с. 29-35
2. Каламбет Ю., Мальцев С., Козьмин Ю. «Фильтрация шумов: окончательное решение проблемы» // Аналитика» М. Изд-во: Техносфера, 1/2011 (1), с. 50-55.

3. Михайлов В.В., Парака А.В., Чекаль В.Н. Технология автоматизированного формообразования для производства оптических элементов. Оптический журнал, т.76, № 9, 2009, с.82-86.

УДК 67.05

В.В. Калистратов^{1,2}, В.В. Калистратов², А.И. Прудников^{2,1}

¹Санкт-Петербургский политехнический институт Петра Великого

²АО НПК "Северная заря"

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ШТАМПОВКИ МАТЕРИАЛА 47НД

Темой данной работы является повышение стойкости инструмента для штамповки деталей из сплава прецизионного с заданным ТКРЛ марки 47НД ГОСТ 10994-74. [1]

Введение. Исследования проводились на многооперационном штампе последовательного действия. Оборудование: пресс усилием 50 тонн, модель BRUDERERBSTA-510 «Швейцария». Материал заготовки: лента 47НД-НТ-0-2,5x25 ГОСТ 14080-78.

Проблема заключается в том, что при общей удовлетворительной стойкости самого штампа (50.000 ударов до переточки), стойкость пуансонов на операции пробивки отверстий была крайне мала (до 6.000 ударов). Критерий оценки стойкости был обусловлен появлением на детали высоты «заусенца» выше допустимого. Максимально допустимая его величина составляет 0,04 мм. Также к отрицательным показателям операции пробивки можно отнести заниженный штамповочный двусторонний зазор между матрицей и пуансоном, который составляет 0,05 мм на диаметр (при рекомендованном 0,2÷0,25 мм) [2], что приводит к повышенному износу пуансона. Малый зазор обусловлен необходимостью получений высокой чистоты в отверстии ($R_a = 1,6 \text{ мкм}$) и минимально возможным «срывам» материала. Таковы требования конструкторской документации и технологии дальнейшего использования детали.

Установлено, что при пробивке отверстий, размеры которых соизмеримы с толщиной материала, локальная удельная нагрузка на режущие кромки пуансона в два-три раза больше, чем на режущие кромки вырубной матрицы. Режущие кромки пуансона, как и матрицы, подвергаются резким циклическим нагрузкам ударно-импульсного характера, одновременно с действием кругового изгибающего момента. В результате возникает процесс усталостного разрушения режущих кромок [2]. С увеличением отношения S/d величина локальной нагрузки режущих кромок резко возрастает.

Методика исследования.

Исходные данные:

1. штампаемый материал – сплав 47НД (предел кратковременной прочности $\sigma_B = 62,2 \text{ кгс}/\text{мм}^2$;
2. толщина материала $S = 2,5 \text{ мм}$ ($S/d = 1,39$);
3. двусторонний зазор $z = 2\%$ от S ;
4. материал пуансона – сталь У8А ГОСТ 1435-99 с термообработкой до твердости 56...58 HRC_Э;
5. Чистота рабочей поверхности пуансона $R_a = 0,2 \text{ мкм}$;
6. критерий износа – образование заусенца высотой до 0,04 мм;
7. Положительный результат: $N_{\text{пуансона}} \geq N_{\text{штампа}}$, где N – стойкость.

В начальный момент был рассмотрен характер износа пуансона и определены причины его низкой стойкости (6.000 ударов). При рассмотрении рабочей части изношенного пуансона с помощью измерительного микроскопа Chien WeiEnterprise CoCW-2515V-2 были

обнаружены на режущей кромке инструмента характерные следы адгезионного износа. А именно, налипания, сколы, микротрешины.

Причины адгезионного износа, рабочей части пуансона, заключается в возникновении в зоне контакта микросварок (сварок твердых фаз) и происходит перенос материала с одной металлической поверхности на другую в процессе скольжения друг относительно друга. При дальнейшей работе на инструменте образуются сколы. Это происходит, когда механизм адгезионного изнашивания, преобладающего на ранних стадиях работы инструмента, постепенно заменяется усталостным отказом материала. При таком сценарии на поверхности возникают микротрешины, которые в последствии начинают расширяться и углубляться. Так как в зоне контакта возникают высокие температуры резания, которые приближаются к температуре отпуска материала пуансона ($\approx 400^{\circ}\text{C}$) и конечном итоге разрушают поверхностный слой пуансона.

В связи с недостаточной износостойкостью пуансонов из стали У8А ГОСТ 1435-99, основываясь на рекомендациях по выбору материалов, применяемых для изготовления пуансонов (справочник по холодной штамповке Романовский В.П.) [2] был выбран пуансон из инструментальной быстрорежущей стали Р6М5 ГОСТ 19265-73 [3].

1. твердость: 62...63 HRC_Э;
2. максимальная рабочая температура: 550 °C;
3. чистота рабочей части пуансона $R_a = 0,2 \text{ мкм}$.

В результате были получены удовлетворительные показатели стойкости инструмента до получения максимально допустимого «заусенца» 0,04 мм. Стойкость пуансона выросла до 30.000 ударов.

Показатели, полученные при использовании пуансонов из стали Р6М5 также не удовлетворяли общей стойкости штампа, то есть $N_{\text{пуансона}} \leq N_{\text{штампа}}$.

Благодаря появлению порошковой быстрорежущей стали можно увеличить стойкость пуансона в 2-3 раза, превосходящую стойкость инструмента того же состава получаемого из литых заготовок. Более высокие показатели стойкости инструмента обусловлены измельчением карбидов, улучшением их однородности и способностью повысить содержание необходимых легирующих элементов, таких как кобальт.

Кобальт повышает критическую скорость закалки стали при термообработке. Это позволяет инструментальным сталим работать при высоких температурах без разупрочнения (смягчающего отпуска).

На основе вышеперечисленных критериев была выбрана легированная кобальтом порошковая быстрорежущая сталь с отличной стойкостью к абразивному и адгезионному износу и хорошей компрессионной прочностью –Vanadis 30 Super Clean.

1. твердость: 65...66 HRC_Э;
2. максимальная рабочая температура 650 °C;
3. чистота рабочей части пуансона $R_a = 0,2 \text{ мкм}$.

После результатов испытаний была получена стойкость пуансона 45.000 ударов. Что также не устраивает требованиям, то есть $N_{\text{пуансона}} \leq N_{\text{штампа}}$.

Для преодоления границы удовлетворительной стойкости пуансона было проведено дополнительное нанесение на рабочую часть инструмента наноструктурного покрытия состава Ti-Al-N методом ионно-плазменного вакуумного-дугового осаждения.

К основным преимуществам наноструктурного покрытия следует отнести:

1. материал пуансона Vanadis 30 Super Clean;
2. чистота рабочей части пуансона $R_a = 0,2 \text{ мкм}$.
3. твердость покрытия: 28...35 ГПа (3300 HV);
4. максимальная рабочая температура: 900 °C;
5. толщина покрытия 0,003 мм;

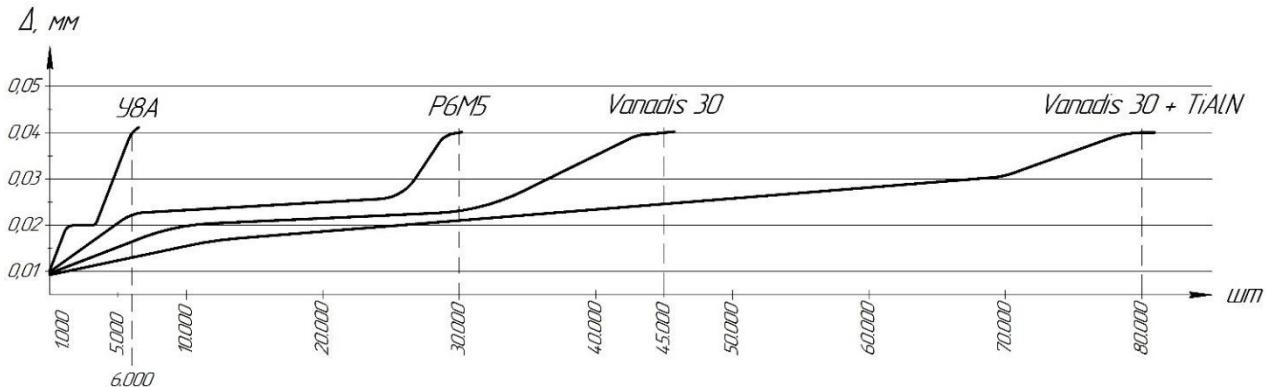


Рисунок 1. График стойкости инструмента

После проведенных испытаний пуансона с наноструктурным покрытием Ti-Al-N были получены результаты, полностью удовлетворяющие результаты технического задания, а именно стойкость инструмента возросла до 80.000 ударов $N_{\text{пуансона}} > N_{\text{штампа}}$.

Вывод. После применения наноструктурного покрытия состава Ti-Al-N методом ионно-плазменного вакуумного-дугового осаждения очевидно, что стойкость инструмента для штамповки сложнообрабатываемых материалов, типа 47НД существенно возрастает [4]. Ниже приведен график стойкости инструмента (рисунок 1) – зависимость стойкости инструментов (величина заусенца Δ , мм), от выбора различных материалов и покрытий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 10994-74. Сплавы прецизионные. Марки. – Взамен ГОСТ 10994-64.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с., ил.
3. ГОСТ 19265-73. Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия. Введен Государственным комитетом стандартов Совета Министров СССР от 10 декабря 1973г. – Взамен ГОСТ 9373-60 и ГОСТ 5952-63.
4. Твердость, адгезионная прочность и трибологические свойства аддитивных наноструктурных ионно-плазменных вакуумно-дуговых покрытий (Ti,Al)N-Mo₂N). В.С. Сергеевнин, И.В. Блинков, Д.С. Белов, А.О. Волхонский, Ю.А. Крипин, А.В. Черногор. Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва. 2016г.

УДК 658.562.012.7 :658.562.42

Е.У. Яхяева, Р.Р. Гайсин, М.А. Адмакин, О.Н. Адмакина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОРГАНИЗАЦИЯ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Крепёжные (метизные) изделия являются, в основном, продукцией массового производства и закупаются всеми без исключения машиностроительными предприятиями. Качество поставляемого крепежа, как показывает практика, не всегда соответствует заявленным данным, поэтому правильная организация контроля крепёжных изделий является одной из важных задач, стоящих перед промышленностью.

Актуальность данной работы заключается в том, что предлагается разработать упрощённый подход к применению ГОСТ ИСО 2859-1-2007. «Статистические методы.

Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку» [1], к нуждам конкретного предприятия.

Цель работы. На примере конкретного предприятия с заданными требованиями к качеству крепёжных изделий разработать программу организации входного контроля.

В настоящее время процедуру входного контроля регламентирует ГОСТ ИСО 2859-1-2007. Применение его в действующем производстве вызывает затруднение, так как он содержит несколько десятков страниц, приведены графики соответствия параметров без комментариев и вводятся вероятностные параметры приёмки, что не всегда соответствует экономическим интересам предприятий. Как правило конкретное предприятие имеет 2 уровня надёжности поставщиков (новый и проверенный), требуемый процент поставляемого брака (данный ГОСТ предусматривает расчётный процент брака, чтобы партия в целом считалась хорошей), а также статистические данные по объёмам партий поставляемого крепежа (болтов, винтов, гаек и т.д.). Рассмотрим пример конкретного предприятия с заданными уровнями: поставка крепежных изделий: болты М10 [2], гайки М10 [3], винты М10 [4]. Объемы поставляемых партий: $N_1 = 90$ шт., $N_2 = 1200$ шт., $N_3 = 10000$ шт. Поставку производят два поставщика: постоянный и новый.

Условия проведения входного контроля, которые необходимо указывать в договоре поставки (план выборочного контроля):

1. По схеме правил переключения [1, с.8] контроль продукции надёжного поставщика переключен с нормального на ослабленный. Для новых поставщиков установлен усиленный тип контроля.

2. Уровень контроля – II.

3. Приемлемый уровень качества AQL (процент несоответствующих единиц продукции) назначаем равным 1% и 4% по запросу заказчика.

4. Тип плана – одноступенчатый.

5. Приемочное число Ac , браковочное число Re .

Результаты определения приемочного числа Ac и браковочного числа Re представлены в таблице 1.

Таблица 1. Определение приемочного Ac и браковочного Re чисел, согласно ГОСТ ИСО 2859-1-2007

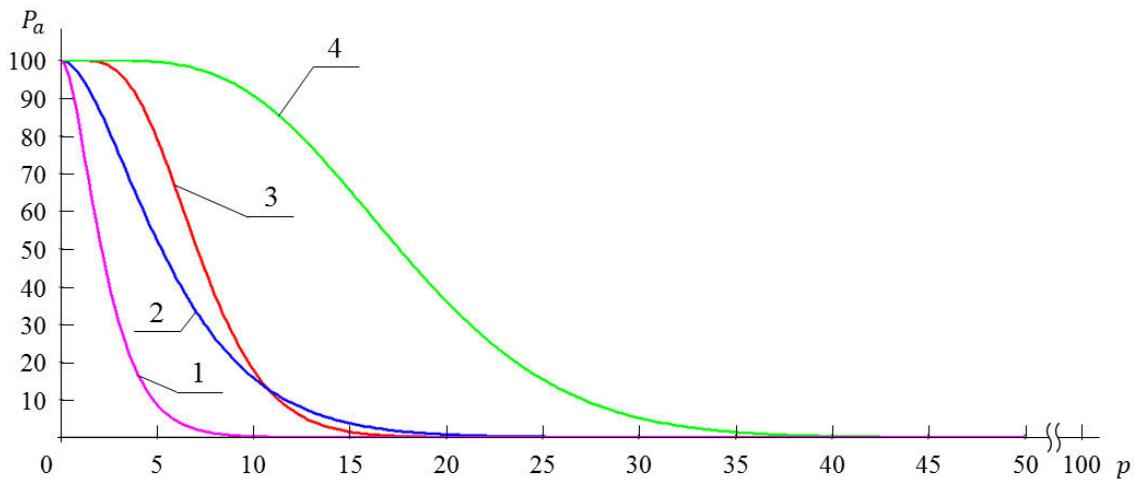
AQL , %	Уровень контроля	Тип контроля	Объем партии, N шт.	Код объема выборки	Объем выборки, шт.	Тип плана	Ac	Re
Надёжный поставщик								
1%	II	Ослабленный	90	<i>E</i>	5	Одноступенчатый	0	1
			1200	<i>J</i>	32		1	2
			10000	<i>L</i>	80		3	4
			90	<i>E</i>	5		1	2
			1200	<i>J</i>	32		5	6
			10000	<i>L</i>	80		8	9
Новый поставщик								
4%	II	Усиленный	90	<i>E</i>	13	Одноступенчатый	0	1
			1200	<i>J</i>	80		1	2
			10000	<i>L</i>	200		3	4
			90	<i>E</i>	13		1	2
			1200	<i>J</i>	80		5	6
			10000	<i>L</i>	200		12	13

Далее приведен порядок действий при составлении плана выборочного контроля ($N_2 = 1200$ шт., $AQL = 1\%$, тип контроля – усиленный). Зная объем партии N , по таблице 1 [1] определим код объема выборки. При $N = N_2 = 1200$ шт. код объема выборки – J . В таблице 2-В [1] (усиленный контроль) находим Ac и Re на пересечении кода объема выборки и значения AQL . При коде объема выборки J и $AQL = 1\% - Ac = 1$ и $Re = 2$. Также, по данной таблице получим объем выборки $n = 80$.

По полученным значениям построим кривые оперативных характеристик (рисунок 1), которые наглядно демонстрируют, как вероятность приемки партии зависит от её качества. Для расчёта использовано биномиальное распределение (1).

$$P_a(p) = \sum_{m=0}^{Ac} C_n^m \cdot p^m \cdot (1-p)^{n-m} \quad (1)$$

где $P_a(p)$ – вероятность приемки партии; p – процент несоответствующих единиц продукции; m – число дефектных изделий; Ac – приемочное число; C_n^m – биномиальный коэффициент; n – объем выборки.



1 – усиленный контроль ($AQL 1\%$), 2 – ослабленный контроль ($AQL 1\%$)

3 – усиленный контроль ($AQL 4\%$), 4 – ослабленный контроль ($AQL 4\%$)

P_a – вероятность приемки партии (в процентах), p – процент несоответствующих единиц продукции

Рисунок 1. Кривые оперативных характеристик (код объема выборки J)

С увеличением процента AQL увеличивается средний процент принятых партий $P_a(p)$ (при неизменном проценте несоответствующих единиц p). С изменением типа контроля (ослабленный → усиленный) при неизменном проценте AQL и среднем проценте принятых партий $P_a(p)$ увеличивается процент несоответствующих единиц p .

Построив кривые оперативных характеристик, определим риски, возникающие при данном плане выборочного контроля. Согласно [1] риски бывают двух типов: риск изготовителя и риск потребителя. Качество риска потребителя составляет процент несоответствующих единиц продукции, при этом соответствующая вероятность приемки составляет не более 10% согласно [1]. В таблице 2 представлены риски изготовителя и качество риска потребителя, значения которых взяты из таблиц 5-В, 5-С и 6-В, 6-С [1] соответственно.

Как видно из таблицы 2, с увеличением процента AQL снижается риск изготовителя и увеличивается качество риска потребителя. При смене типа контроля с ослабленного на усиленный увеличивается риск изготовителя, снижается качество риска потребителя.

В результате потребителю известны объёмы выборки, допустимое число бракованных изделий, что помогает принять решение о приёмке всей партии или мотивированному отказу от приёмки.

Таблица 2. Риск изготовителя и качество риска потребителя (код объема выборки J)

AQL, %	Риск изготовителя, %		Качество риска потребителя, %	
	Ослабленный контроль	Усиленный контроль	Ослабленный контроль	Усиленный контроль
1%	4,15	19,1	11,6	4,78
4%	1	10,5	23,4	11,3

Выходы. Существующий на настоящий момент ГОСТ по организации приёмки изделий массового производства затруднителен в применении. Для существующих предприятий с конкретными требованиями по качеству можно разработать процедуру приёмки, но это требует определённых затрат и часто игнорируется предприятиями. В дальнейшем развитии этой работы предлагается разработать универсальный алгоритм и программу на ЭВМ организации входного или выходного контроля качества крепёжных изделий.

ЛИТЕРАТУРА:

- ГОСТ Р ИСО 2859-1-2007. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 1. Планы выборочного контроля последовательных партий на основе приемлемого уровня качества.; введ. 2007-06-01. – Москва: ФГУП "Стандартинформ", 2008. – 104 с.
- ГОСТ Р ИСО 4014-2013. Болты с шестигранной головкой. Классы точности А и В.; введ. 2014-07-01. – Москва: ФГУП "Стандартинформ", 2014. – 21 с.
- ГОСТ ISO 4032-2014. Гайки шестигранные нормальные (тип 1). Классы точности А и В, введ. 2017-01-01. – Москва: ФГУП "Стандартинформ", 2015. – 14 с.
- ГОСТ Р ИСО 4762-2012. Винты с цилиндрической головкой и шестигранным углублением под ключ; введ. 2014-01-01. – Москва: ФГУП "Стандартинформ", 2014. – 15 с.

УДК 621.822.5

В.А. Прокопенко, Н.А. Пелевин, Н.А. Семенюк, М.А. Баранов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ ДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ШПИНДЕЛЬНЫХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ

Цель работы – изучение возможностей различных критериев динамического качества (ДК) гидростатических подшипников (ГСП) шпиндельных узлов станочного оборудования.

Известно, что при проектировании и модернизации современных металлорежущих станков (МРС) должны быть обеспечены высокие эксплуатационные показатели и прежде всего нагружочная способность, быстроходность, а также виброустойчивость. В качестве объекта исследований взят ГСП тяжелого производственного модуля ЛР520ПМФ-4 со следующими исходными данными (без коррекции): диаметр выдвижного шпинделя $D=160$ мм, наибольшая радиальная нагрузка $P_{zmax}=100$ кН, радиальный зазор $h_0=45*10^{-6}$ м³, давление питания $p_h=10*10^6$ МПа, система управления дроссельная. Выполнены сравнения по следующим показателям ДК: запас устойчивости по фазе $\Delta\phi$, показатель колебательности M , логарифмический декремент колебаний λ . Установлено, что в исходном состоянии ГСП имеет низкое ДК ($\Delta\phi=7^\circ$). Для его повышения рассмотрено введение в ГСП динамической

коррекции в виде RC-цепи (с гидросопротивлением R_A и гидроемкостью C_A). Для определения значений R_A и C_A расчет $\Delta\phi$ [1] производился по частотным характеристикам [2] системы автоматического регулирования (САР) через передаточные функции (W_p) [3]. Для оценки ДК $\Delta\phi$ должен обеспечиваться на уровне не менее 55° [4]. При расчете M его значение при высоком ДК должно составлять 1.1-1.3 [5] и определяться по асимптотической ЛАЧХ как [6]:

$$M = \frac{T_{\omega_{cp}}}{T_{\omega_{cp}} - 1},$$

где T – постоянная времени, соответствующая наклону ЛАЧХ – 20 дБ/дек до ω_{cp} , где ω_{cp} – значение частоты среза.

В случае введения в САР RC-цепи колебательность САР может быть достаточно низкой. Поэтому определение λ затруднено и был использован метод построения АЧХ [7] (например, в пакете МВТУ) с последующим определением по расчетной амплитуде $A = A_{max} / \sqrt{2}$ (где A_{max} – значение амплитудного пика на АЧХ) и расчетного $\lambda = \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{\omega_{max}}$,

где ω_2 и ω_1 – частоты на АЧХ по уровню $A = A_{max} / \sqrt{2}$, ω_{max} – частота, соответствующая A_{max} .

В таблице 1 приведены результаты расчета показателей ДК для различных вариантов исполнения коррекции.

Из анализа полученных результатов следует:

- при отсутствии коррекции (вариант 0) в исходном состоянии ГСП имеет низкое демпфирование;

- при вариантах коррекции 1-3 рассмотренная RC-цепь с емкостью $C_A=21*10^{-14} \text{ м}^3/\text{Па}$ (в виде стандартного стального сильфона ГОСТ 21482-76) обеспечивает у САР близкие значения $\Delta\phi$ (высокие значения ДК), однако из-за отличия соответствующих значений отличия в динамике все-таки имеют место;

- при ближайшем меньшем стандартном значении $C_A=5*10^{-14} \text{ м}^3/\text{Па}$ значение $\Delta\phi$ существенно ниже и находится в области низкого ДК;

- по критерию M в варианте 3 обеспечивается наилучшее по сравнению с вариантами 1 и 2 общее ДК;

- по критерию λ для варианта 3 также ДК наилучшее.

Таблица 1. Показатели ДК для вариантов коррекции

Номер варианта		0	1	2	3	4	5
Параметры коррекции	$C_A, *10^{-14} \frac{\text{м}^3}{\text{Па}}$	-	21	21	21	15.8	5
	$R_A, *10^9 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}^3}$	-	6.6	9.5	13.2	10.3	16
Динам. параметры	$\Delta\phi, {}^\circ$	7	55	59	55	55	37
	λ	0.4	3.7	5.1	7.3	4.8	3.4
	M	-	2.3	1.4	1.2	1.5	-

Рассмотренные критерии ДК дают возможность установить параметры RC-цепи, обеспечивающие высокое ДК САР. Однако при этом следует иметь в виду следующее:

1) При использовании критерия $\Delta\varphi$ достаточно просто его определение через W_p , но требуется дополнительная проверка по динамике (например, в пакете МВТУ) с учетом неоднозначности ДК, зависящего от ω_{cp} ;

2) Использование критерия M может иметь ограничения, т.к. не каждая ЛАХЧ содержит ω_{cp} на участке ее наклона -20 дБ/дек;

3) Расчет ДК по критерию λ , с одной стороны, является более громоздким (при отсутствии его автоматизации [8]), а с другой стороны, не каждая АЧХ имеет две расчетные частоты (ω_1 и ω_2) при пересечении ее по уровню $A = A_{max} / \sqrt{2}$.

Подтверждение эффективности коррекции ГСП производится расчетом и построением переходных процессов (ПП). На рисунке 1 приведены ПП для ГСП при использовании RC-цепей по вариантам, соответствующим таблице 1 и обосновывающим изложенные выше анализы результатов.

При проектировании ГСП важным является проверка динамики с учетом возможных изменений приведенной массы шпинделя [9] с учетом всех технологически возможных условий использования МРС.

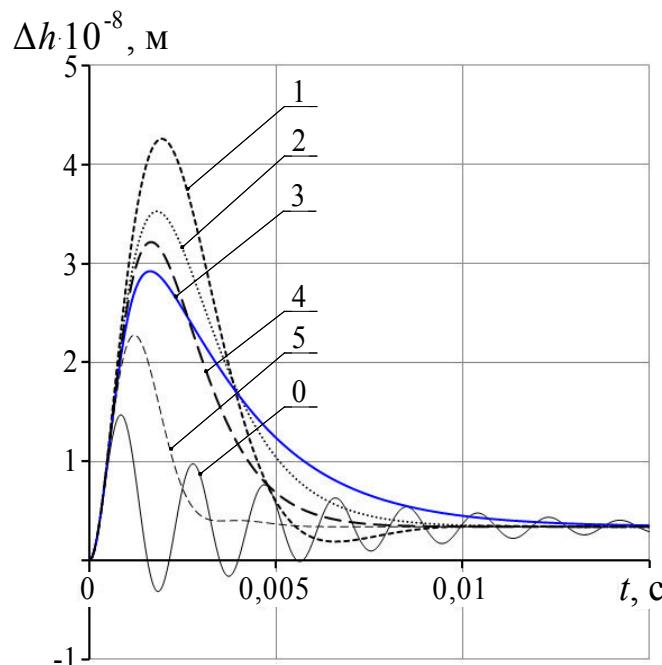


Рисунок 1. Переходные процессы для вариантов САР ГСП

Таким образом в результате проведенных исследований показана достаточная эффективность применения критериев оценки ДК и самой коррекции ГСП средствами RC-цепей, и установлены существенные возможные ограничения их использования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. М.С. Бундур, Н.А. Пелевин, П.П. Петков, В.А. Прокопенко. Расчет, моделирование и конструирование оборудования с компьютерным управлением : практикум. СПб.: Изд-во Политехн., 2016. 56 с.
2. М.С. Бундур Теория автоматического управления: Учебное пособие/ М.С. Бундур, Н.А. Пелевин, В.А. Прокопенко, И.А. Чернов – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – 76 с.

3. Бундур М.С., Прокопенко В.А., Чернов И.А.. Моделирование шпиндельных гидростатических подшипников и исследование возможностей повышения их динамического качества // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО, Т. 64, № 6, 2009. С. 32-37.
4. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. М: Машиностроение, 1983. 608 с.
5. Прокопенко В.А., Яцкевич А.А. Динамические характеристики гидростатических подшипников тяжелых металлорежущих станков // в кн. Прогрессивные технологические процессы в машиностроении. - Л: ЛГТУ, 1990. С. 7-14.
6. Бесекерский В.А., Попов Е.Н. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, пере раб. и доп. СПб: Изд-во «Профессия», 2003. 752 с.
7. Козлов О.С., Скворцов Л.М. Программный комплекс "МВТУ" в научных исследованиях и прикладных разработках // Математическое моделирование, Т. 27, № 11, 2015. С. 32–46.
8. Бундур М.С., Пелевин Н.А., Прокопенко В.А. Совершенствование расчетно-вычислительной базы для повышения уровня подготовки специалистов-станкостроителей // Материалы 3-й Международной научно практической конференции «Современное машиностроение. Наука и образование». –СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. С. 896 - 904.
9. Бундур М.С., Пелевин Н.А., Прокопенко В.А. Динамика шпиндельного гидростатического подшипника с учетом изменения приведенной массы // Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 5-й Международной научно-практической конференции – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. С. 1028-1039.

УДК 621.914.1

А.С. Морев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИЯ ЧЕРНОВЫХ ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ МЕТОДОМ ПЛУНЖЕРНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРОФИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Введение. В наше время современное производство требует от предприятия не только наличия современной технической базы и компьютеризации, но и применения передовых технологий, основанных на экономном и продуктивном использовании имеющихся ресурсов. Анализируя возможности и потребности института, а также опыт зарубежных фирм в области механической обработки металлов резанием, появилась идея использования режущего инструмента и оборудования более эффективно с минимумом затрат. Практическая сторона вопроса была изучена на нескольких предприятиях отечественной промышленности (ЦНИИ «Буревестник», ЗАО «Диаконт», АО «Морские неакустические комплексы и системы»).

Целью работы является упрощение и удешевление обдирочных и черновых операций с применением имеющегося инструмента и оснастки, в основу которой положен метод плунжерного фрезерования.

Актуальность. Надо особо отметить, что этот вид обработки незаслуженно забыт и вовсе не применяется в силу таких причин, как отсутствие специального инструмента, ограниченное количество подходящих станков, неумение программировать данную технологию и невозможность использования метода без сопровождения инженера-технолога.

В первую очередь, по степени соответствия инструмента требуемым характеристикам и условиям работы, выделим три группы инструмента, который может быть применен [1]:

1. Сверла со сменными пластинами.

Так как плунжерные сверла имеют незначительные отличия от «обычных» сверел с СМП, то принцип обработки заключается в стандартном плунжеровании с возможностью использования переходов сверла на величину более половины диаметра (но не более 0.75 диаметра!).

Фрезы с тангенциальным креплением пластин.

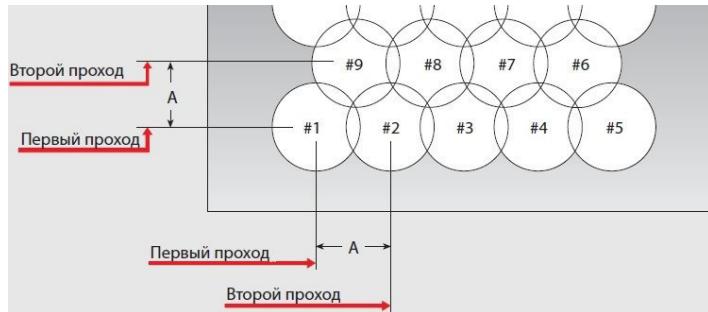


Рисунок 1. Схема плунжерования фрезой с тангенциальным креплением пластин

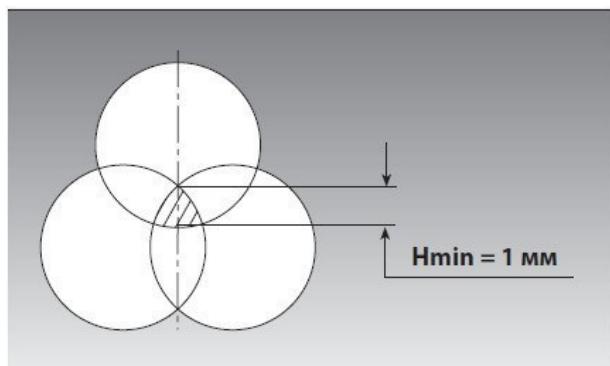


Рисунок 2. Схема перекрытия между врезаниями

Для данного вида фрез плунжерование должно соответствовать следующей схеме: первое отверстие - режим сверления (рисунок 1); второе и последующие с перекрытием на шаг $0.5D < A < 0.8D$ (рисунки 1, 2).

2. Фрезы торцевые, торцево-цилиндрические и концевые со сменными пластинами.

Схема обработки данными фрезами является более предпочтительной перед тангенциальными, и, в свою очередь, делится на два подтипа [2]: плунжерование с дуговым врезанием.

Максимальная ширина каждого прохода не должна превышать 11 мм (превышение этой величины грозит вибрациями и снижением качества обработки). Общая рекомендуемая ширина врезания $A < 0,7 D$; плунжерование с предварительно просверленного отверстия: если плунжерование начинается с предварительно просверленного отверстия, размер начального отверстия D_i должен быть больше диаметра фрезы D_t .

После каждого вертикального прохода на больших вылетах нужно смещать инструмент под углом 45° на расстояние не менее 0,5 мм. Только после такого смещения можно поднимать инструмент и выходить из заготовки. По инструменту, надо отметить, что преимущественно использовать первый и второй типы указанных инструментов, в силу простоты обработки, универсальности и большей распространенности [3].

Программирование обработки в САМ – системах:

Для программирования обработки в качестве основного варианта в данной работе будет рассматриваться Unigraphics NX.

Для вывода диалогового окна по плунжерованию необходимо выбрать в меню обработки операцию PlungeMilling и произвести выбор интересующего в качестве обрабатываемого объекта с назначением необходимых параметров.

В качестве основных условий будут представлены: количество линий обработки, величина радиального реза, глубина резания и режимы резания.

Наравне с операцией PlungeMilling, возможно задание метода путем циклов расточки, где на каждое перемещение будет адресован свой цикл растачивания. Смысл этой операции, как и основная сложность, в том, что, исходя из описанных в методов плунжерования, выбирается наиболее подходящий (в зависимости от инструмента), и вручную назначаются точки, к которым впоследствии «привязываются циклы растачивания».

Первый способ задания плунжерования – самый универсальный и применим в большинстве случаев. Если же задача нестандартная, или нужно произвести угловое плунжерование, то второй метод более предпочтителен.

При программировании обработки всегда необходимо предусматривать припуск на чистовую операцию в размере 5-10% от начального припуска [4].

Выход. Простота метода обработки и минимум видов постоянно повторяемых перемещений не только гарантируют отсутствие непредвиденных ситуаций в процессе работы (столкновения, зарезы), но и минимизируют работу инженера - технолога по написанию управляющей программы, отладке и освоению ее на станке, также как минимизирует работу оператора по контролю операции.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Козлов С.В. Влияние вибрации на качество фрезерованной поверхности деталей из титана и птиборьбы с вибрациями // Инновации в науке: научный журнал. – № 8(84). – Новосибирск., Изд. АНС«СибАК», 2018. – С. 25-29.
2. Кожевников Д.В. «Резание материалов» Учебник для вузов / Под общ.редакцией С.В. Кирсанова.2006 – 267 с.
3. Вульф А.М. «Резание металлов». – М.: Машиностроение, 1973. – 496 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

УДК 621.923.04.02

А.Р. Хамидуллин, В.И. Слатин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРПУСА КАРТЕРА

В настоящее время при решении технологических задач механической обработки сложных корпусных деталей особую актуальность приобретает использование станков с программным управлением по сравнению с универсальным механообрабатывающим оборудованием [1, 2]. Принимая во внимание дефицит квалифицированных рабочих это позволит решить ряд современных проблем, повышения производительности, особенно повышение качества машиностроительной продукции и увеличения программы её выпуска.

Практически все изделия собираются в корпусах, причем ответственные изделия изготавливаются из металла. При реализации изготовления ответственных корпусов используется как правило технология механической обработки лезвийным инструментом. Это связано с гораздо более выгодной реализацией по соотношению затрат-качество при обработке по классической механообрабатывающей технологии, несмотря на большое

количество методов реализации формообразования корпусных деталей с применением современных технологий [3].

В качестве оборудования использовался полуавтомат 245ВМФ2, с оборудованным инструментальным магазином, предназначенный для односторонней комплексной обработки корпусных деталей средних размеров.

Деталь представляет собой отливку 3-го класса точности с отверстиями под подшипник. Конфигурация детали и ее материал (СЧ20 ГОСТ1412-85) позволяет в качестве метода получения заготовки выбрать литье. По габаритным размерам и массе отливка является средней, а по форме достаточно сложной, поэтому наиболее целесообразно производить литье в песчано-глинистые жидкостекольные формы как наиболее универсальное. Такие смеси широко применяются для изготовления крупных форм [4]. Наиболее точными в конструкции детали является два отверстия $\varnothing 52H7$ и $\varnothing 55K7$, и два отверстия $\varnothing 12H7$, являющиеся удобной технологической базой. Выполнение требований точности на внутренних поверхностях, а также соответствующих требований к шероховатости обрабатываемых поверхностей, не выше 2,5 мкм, безусловно определяет перевод процесса формирования поверхностей данного изделия на оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ).

Нами предложен усовершенствованный технологический процесс механической обработки корпуса картера, состоящий из двух программных операций позволяющий значительно усовершенствовать процесс изготовления изделия, сократить основное и вспомогательное время выполнения операций механической обработки и обеспечить выполнение требований по качеству.

В новом технологическом процессе за основу принято следующее технологическое оборудование: станки с ЧПУ Maho MH 400E и ИС-500 –взамен ряда операций механической обработки: фрезерования, растачивания и сверления, существующего варианта техпроцесса.

Новизной решений технологического процесса является также предлагаемые средства технологического оснащения. Установка заготовок на столе станка осуществлялась с помощью специальных видов технологической оснастки, которые позволяли реализовывать выбранные схемы базирования, а также повысить точность геометрических параметров изделия. В новый технологический процесс заложено применение разработанного авторами: специального приспособления в виде сменных губок к тискам гидравлического стола ЧПУ и многоместного приспособления для отверстия $\varnothing 92$.

В качестве режущего инструмента используются торцовые фрезы, сверла, расточные резцы фирмы Sandvik (Швеция), Guhring (Германия) и Titex Plus (Швеция).

С целью повышения производительности сверлильных процессов механообработки разработан: специальный конический зенкер с элементами настройки на длину обработки.

Для проверки точности расположения отверстий $\varnothing 12$ в торцах был разработан специальный калибр. Для контроля остальных параметров детали контрольным инструментом является типовой набор измерительных средств. Возможно также применение современных средств контроля, представленных мерительным инструментом фирмы Mahr (Германия).

Использование станков с ЧПУ позволило в процессе выполнения цикла механообработки реализовать на одном рабочем месте различные виды обработки, как черновую, так и получистовую и финишную обработку поверхностей изделия с применением одного вида технологической оснастки.

Предложенные нами решения, направленные на применение станков с ЧПУ, позволили качественно изменить характер металлообработки, получить значительный экономический эффект. Обработка на станках с ЧПУ характеризуется не только ростом производительности труда оператора-станочника благодаря сокращению основного и вспомогательного времени,

но и повышением точности обработки и снижением затрат на средства технологического оснащения (специальные приспособления). Большое преимущество обработки на программных станках заключается также в том, что значительно уменьшается доля ручного труда рабочего, принципиально именуется состав работников металлообрабатывающих цехов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кушнер В.С. Технологические процессы в машиностроении: Учебник для студентов высших учебных заведений. // В.С. Кушнер, А.С. Верещака, С.И. Богодухов. – М.: ИЦ «Академия», 2016. – с. 416.
2. Виноградов В.М. Технологические процессы автоматизированных производств: Учебник. // В.М. Виноградов, А.А. Черепахин, В.В. Клепиков. – М.: «Инфра-М», 2018. – с. 47.
3. Крутко А.В. Создание перспективных конструкций оболочек приборов на основе использования возможных новых литейных комплексов. // А.В. Крутко, А.П. Ивакин. Системы управления и обработки информации. – 2017. с. 106-111.
4. Рогов В.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Штамповочное и литейное производство: учебник для вузов. // В.А. Рогов, Г.Г. Позняк. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство «Юрайт» 2019. с. 319.

УДК 621.941.1

А.Е. Зезюков, И.И. Козарь

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Зубчатые колеса являются одним из самых распространенных типов деталей, применяемых в современном машиностроении. Существует лишь ограниченное число механизмов, где зубчатые колеса, шестерни, валы-шестерни, сателлиты, шлизы не применялись бы. Несмотря на то, что для удовлетворения нужд машиностроения, ежедневно производится огромное количество зубчатых колес с диаметром от 2 до 12000 мм, с модулем от 0,05 до 70 мм – потребность в них продолжает расти.

Применяемая в настоящий момент технология изготовления зубчатых колес в основном полагается на применение процессов резания, требует улучшения, так как процесс формообразование зубьев на фрезерных и зуборезных станках отличается низкой производительностью.

Одним из ключевых направлений повышения эффективности машиностроительного производства является снижение расхода металла за счет применения прогрессивных методов получения заготовок. Отходы металла при изготовлении деталей машин резанием, в среднем находятся в пределах 20% – 40% общего объема потребляемого металла, а в некоторых отраслях машиностроения отходы металла в 3 – 4 раза превышают массу готовых изделий.

В последние годы, все более широкое применение находят технологии изготовления зубчатых колес, позволяющие формировать зубья на заготовительном этапе производства. Из множества современных технологий получения заготовок с предварительно сформированными зубьями следует упомянуть такие как [1]:

- литье;
- пластическое деформирование;
- порошковая металлургия.

Выбор метода получения заготовки должен учитывать стоимость получения заготовки, стоимость последующей обработки заготовки, а также возможность обеспечения требуемого качества детали. Выбирается заготовка, стоимость получения и обработки которой в совокупности минимальна.

Анализ методов получения заготовок с предварительно сформированными зубьями ответственных деталей показал, что наиболее часто такие заготовки изготавливаются методами пластического деформирования.

Несмотря на уменьшение расхода металла, а также увеличение производительности при изготовлении деталей из заготовок с предварительно сформированными зубьями – появляется проблема обработки наружного диаметра зубьев.

Т. к. зубья были сформированы до стадии обработки резанием, заготовка приходит на операцию обработки наружного диаметра с прерывистой поверхностью (чередуются зубья и впадины), что приводит к прерывистому точению.

Прерывистое точение является разновидностью обычного, и определяется как процесс срезания стружки, чередующегося с холостым пробегом режущего инструмента.

Циклическая природа процесса (врезания и выход инструмента повторяются из-за чередования зубьев и впадин) приводит к повышенной ударной нагрузке на инструмент, что снижает стойкость инструмента по сравнению с обычным резанием и может привести к его поломке. Также, вследствие повторяющихся ударов инструмента о зубья создаются вынужденные колебания элементов технологической системы, в которую входят инструмент, приспособление, станок и заготовка [2, 3].

Устойчивость движения при обработке резанием сильно влияет на точность изготавливаемых деталей, производительность труда и работоспособность технологической системы в целом.

Поэтому, обеспечение устойчивости движения является центральной задачей в решении проблемы с вибрациями, которые возникают в процессе резания. Успешное выполнение данной задачи тесно связанной с достоверностью оценки качества технологических систем с точки зрения ихвиброустойчивости, а также позволит правильно выбирать параметры проектируемых элементов технологических систем с учетом надежности и точности.

Исследование устойчивости технологической системы требует разработки математической модели. Сначала происходит выбор априорной модели, что в первую очередь, связано с выбором числа степеней свободы, т. е. числа независимых переменных, необходимых для полного описания процессов в технологической системе [4]. Реальная технологическая система имеет большое число степеней свободы, каждой из которых отвечает своя собственная парциальная частота.

Для значительного облегчения задачи проектирования математической модели, можно воспользоваться допущением в теории колебаний, которое позволяет пренебречь некоторыми степенями свободы, если эти степени связаны с частотами, значительно отличающимися по величине от основных частот технологической системы. Иначе исследование механической системы колебаний с большим числом степеней свободы может стать затруднительным. Окончательное решение о корректности математической модели даст сравнение результатов математического анализа с результатами экспериментов.

Разработка математической модели предполагает определение основных динамических параметров этой системы:

$$\omega, j, m, \Delta, h:$$

где ω – частота собственных колебаний;

j – коэффициент жесткости системы;

m – приведенная масса;

Δ – логарифмический декремент;

h – коэффициент пропорциональности силы сопротивления скорости.

Направления координатных осей априорной модели выбраны в соответствии с направлениями составляющих силы резания P_x , P_y , P_z . Если принять, что перемещение по всем трем осям независимое, то такие координаты будут обобщенными.

Исходя из предварительного анализа составляющих элементов технологической системы, она была представлена в виде априорной модели, имеющей семь степеней свободы (рисунок 1).

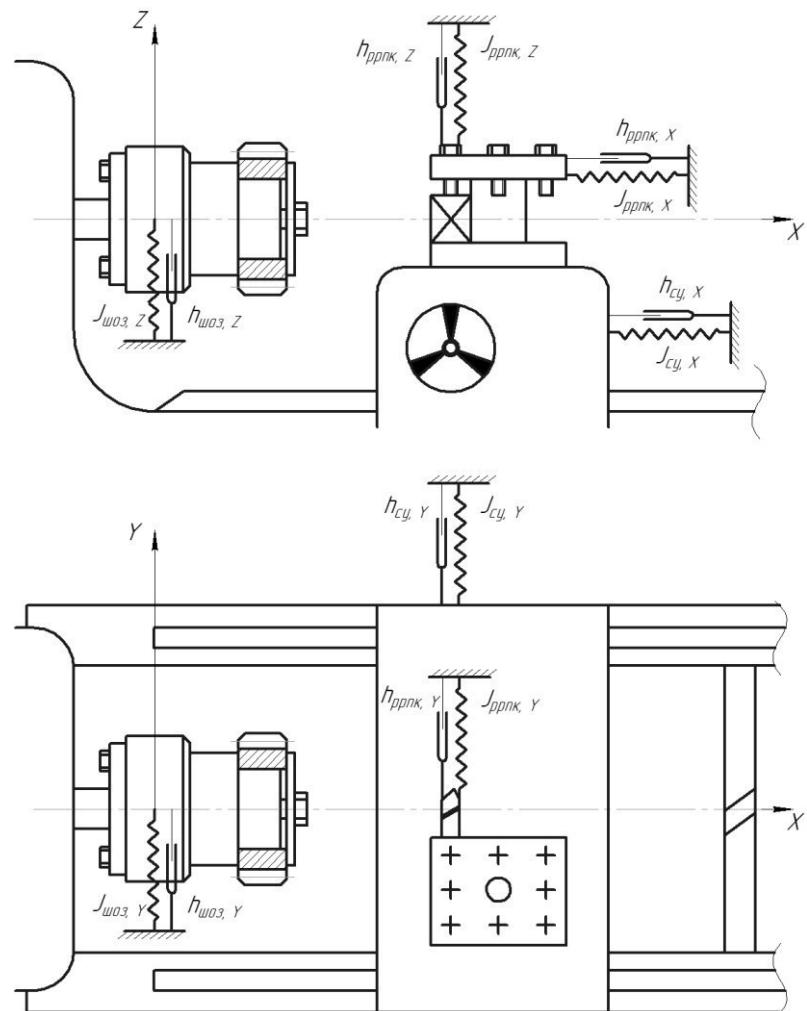


Рисунок 1. Схема априорной модели технологической системы
шоз – "шпиндель – оправка – заготовка";
ррк – "резец – резцодержатель – поперечная каретка".

В декартовой системе координат подсистема "шпиндель – оправка – заготовка" имеет две степени свободы в направлениях осей Z и Y . Подсистема "резец – резцодержатель – поперечная каретка" имеет три степени свободы по осям X , Y , Z . Подсистема суппорт имеет две степени свободы по осям X , Y . Колебания подсистемы "шпиндель – оправка – заготовка" в направлении X не учитывались, т. к. она имеет большие значения коэффициентов жесткости и собственных частот.

После определения числа степеней свободы и схемы априорной модели определяются:

- частоты собственных колебаний ω для каждой степени свободы;
- коэффициенты жесткости подсистем j по диаграмме "нагрузка-перемещение";

- приведенные массы m через коэффициенты жесткости и частоты собственных колебаний;
- логарифмические декременты Δ собственных колебаний;
- характеристики сил резания.

В дальнейшем планируется определение этих параметров и разработка расчетно-математической модели.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Богоявленский К.Н., Бродский А.З, Востров В.Н. Изготовление зубчатых профилей методами холодного пластического деформирования/ Кузнечно-штамповочное производство. №1, 1985. С. 19-21.
2. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. – М., 1970. – С. 252 – 266.
3. Пуш В.Э., Kochinov N.A., Hachatryan A.X. Формообразование поверхности при точении с учетом относительных колебаний заготовки и инструмента. – Станки и инструмент. – 1991.– № 7.– С. 28 – 30.
4. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981. – 568 с.

УДК 539.4:621.4

И.С. Кияев¹, Т.А. Макарова¹, Е.А. Хлопков¹,
А.С. Турзаков², Ю.Н. Выоненко³

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

²АО «ГосНИИХиманалит», Санкт-Петербург,

³ООО «ОПТИМИКС ЛТД», Санкт-Петербург

ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА СЕЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ИЗ СПЛАВА TiNi НА ДЕФОРМАЦИОННО-СИЛОВЫЕ СВОЙСТВА КОЛЬЦЕВЫХ СИЛОВЫХ ПУЧКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Исследования влияния геометрических характеристик на деформационно-силовые свойства механизмов из сплавов с эффектом памяти формы (ЭПФ) начались в конце 80-х годов XX века. Шипша В.Г. и Самойлов Н.С. с соавторами вели работу над разработкой методов расчетов силовых приводов [1]. Лихачев В.А. и Разов А.И. проектировали функциональные элементы из материалов с ЭПФ для монтажа конструкций на орбитальной станции «Мир» [2]. Над решением схожих задач работали М.А. Хусаинов [3], А.Ю. Василенко и А.Т. Косилов [4], И.Н. Андронов [5], ученые из ЦНИИ РТК и ФТИ им. А.Ф. Иоффе [6], ИТА НАНБ в г. Витебск, Беларусь [7], КГТУ им. И. Рazzакова в Бишкеке, Кыргызстан [8], а также зарубежом в Северной Америке, Китае, Западной Европе. В настоящее время работа по разработке механики материалов с ЭПФ ведется в ИПМ РАН, Москва под руководством А.А. Мовчана и в СПбГУ под руководством А.Е. Волкова. Однако в настоящее время математические модели проходят апробацию в материаловедческих лабораториях. Для расчета деформационно-силовых свойств конструкций кольцевых силовых пучковых элементов (КСПЭ, «металлические мышцы») [9] существующих математических моделей недостаточно.

Используемые в технологических процессах кольцевые «металлические мышцы» в течение 10 последних лет зарекомендовали себя надежными механизмами. В настоящее время наработка первых из этих устройств в технологических операциях превысила 1500 циклов. В работе [10] показаны свойства КСПЭ из проволоки с диаметром сечения 2 мм и 2,5 мм. Однако сравнение деформационно-силовых характеристик затруднено из-за

различной массы конструкций и химического состава сплавов, использованных для их изготовления.

Целью данного исследования является определение влияния диаметра сечения проволоки КСПЭ на их функциональные свойства. Для решения экспериментальных задач применены проволоки из сплава TiNi55,15вес.% . Были изготовлены две пары КСПЭ замкнутой кольцевой формы массой ~ 26 г на оправке диаметром 63 мм. Первая пара формировалась из 24 витков проволоки с диаметром сечения $d_{\text{пр}} = 1$ мм. Образцы второй пары состояли из 6 витков проволоки с $d_{\text{пр}} = 2$ мм. После того как КСПЭ сняли с оправки и соединили свободные концы проволоки, диаметр силового элемента d_0 стал равным 59 мм.

Исследования проводили при помощи динамометра ЛИНД [10], имитирующего силовое взаимодействие в ШeРах (миниатюрных прессах) КСПЭ и обрабатываемых материалов. Деформирование КСПЭ осуществляли стальной спиральной пружиной-контртелом (жесткостью 100 Н/мм) с силой F_0 при минимальной температуре термоцикла $T = 279$ К, когда материал силовых элементов находился полностью в мартенситном состоянии. После активного деформирования «металлические мышцы» вместе с ЛИНДом нагревали до ~ 403 К, переводя материал полностью в аустенитное состояние. Охлаждение ЛИНДа проводили вместе с термостатом до 299 К, а затем в холодильной камере до температуры 279 К. Наращивали деформацию силовых элементов и осуществляли последующий нагрев.

Во время первого нагрева наблюдали усиление формоизменения КСПЭ, то есть явление, обратное процессу восстановления формы (рисунок 1). Этот процесс связывают с «дефектом» модуля упругости, возникающим с началом перестройки кристаллической решетки. Дальнейшее повышение температуры приводит силовые элементы к исходной форме, образованной в момент нагружения. При охлаждении под нагрузкой наблюдали возрастание характеристического размера КСПЭ $d(t)$ (максимальный диаметр кольца), обусловленное пластичностью превращения.

К седьмому термоциклу F_0 для обеих пар «металлических мышц» сблизили (рисунок 2). В этих условиях у силовых элементов из проволоки с диаметром сечения 2 мм изменения в результате ЭПФ (рисунок 2, кривая 2) превосходят на 1,85 мм аналогичный показатель КСПЭ из проволоки диаметром 1 мм, который равнялся 1,5 мм (рисунок 2, кривая 1).

Следующие три цикла в обеих сериях экспериментов проходили при $F_0 \sim 300$ Н. При равных геометрических характеристиках двух пар силовых элементов в начальный момент нагрева параметры формоизменения при 403 К достигли 3,3 мм для «металлических мышц», выполненных из проволоки с $d_{\text{пр}} = 1$ мм (рисунок 3, кривая 1), а для КСПЭ 6 витковой конструкции – 5,7 мм.

На рисунке 4 показаны деформационно-силовые свойства кольцевых силовых пучковых элементов исследуемых конструкций. Показатели генерируемых второй парой усилий $F_{\text{ЭПФ}}$ выше, чем у первой пары, на 200÷300 Н от первого до последнего цикла соответственно (рисунок 4, кривые 1 и 2). При этом формовосстановление за счет ЭПФ у образцов из проволоки с $d_{\text{пр}} = 2$ мм оказывается выше (рисунок 4, кривые 3, 4). Это преимущество увеличивается по мере роста начальной деформации КСПЭ ($d_1 - d_0$, мм).

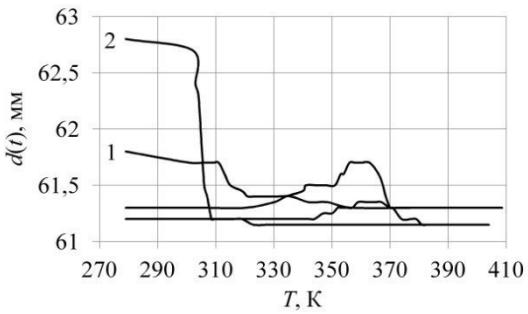


Рисунок 1. Температурная зависимость формоизменения КСПЭ в 1 термоцикле:
1 – $d_{\text{пп}} = 1 \text{ мм}, F_0 = 100 \text{ Н};$
2 – $d_{\text{пп}} = 2 \text{ мм}, F_0 = 290 \text{ Н}$

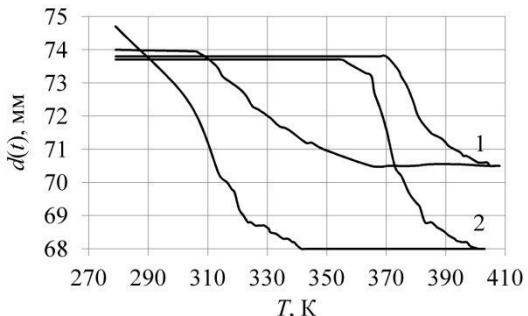


Рисунок 3. Температурная зависимость формоизменения КСПЭ: 1 – $d_{\text{пп}} = 1 \text{ мм}, F_0 = 290 \text{ Н}, \text{термоцикл } 10; 2 – d_{\text{пп}} = 2 \text{ мм}, F_0 = 290 \text{ Н}, \text{термоцикл } 7$

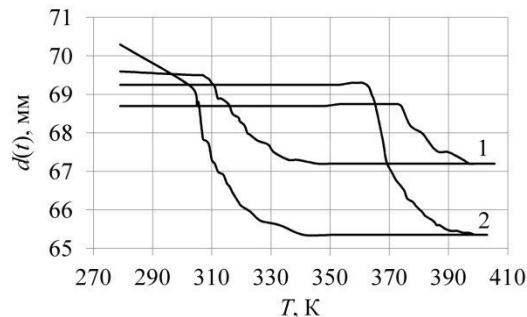


Рисунок 2. Температурная зависимость формоизменения КСПЭ: 1 – $d_{\text{пп}} = 1 \text{ мм}, F_0 = 280 \text{ Н}, \text{термоцикл } 7; 2 – d_{\text{пп}} = 2 \text{ мм}, F_0 = 290 \text{ Н}, \text{термоцикл } 4$

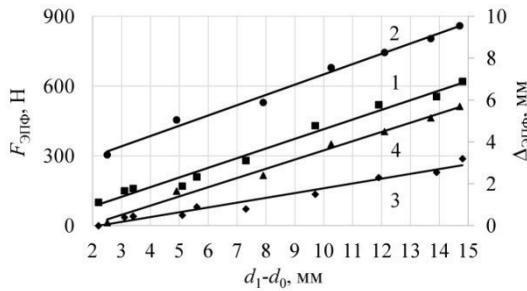


Рисунок 4. Взаимозависимость развиваемых усилий $F_{\text{ЭПФ}}$ (1, 2) и перемещений ЭПФ $\Delta_{\text{ЭПФ}}$ (3, 4) от изменения исходного размера КСПЭ с термоциклизацией перед нагревом:
1, 3 – $d_{\text{пп}} = 1 \text{ мм}; 2, 4 – d_{\text{пп}} = 2 \text{ мм}$

Таким образом, при изготовлении силовых элементов и приводов из никелида титана предпочтительно использовать проволоку с диаметром сечения 2 мм. Также обращает на себя внимание линейность исследуемых соотношений (рисунок 4).

ЛИТЕРАТУРА:

- Казаков В.Ю., Самойлов Н.С., Шипша В.Г., Лямин А.Е., Кравченко Ю.Д. К вопросу о генерации реактивных напряжений сплавами ТН-1К // Материалы с эффектом памяти формы и их применение. – Новгород - Л., 1989. – С. 43-45.
- Кравченко Ю.Д., Лихачев В.А., Разов А.И., Трусов С.Н., Чернявский А.Г. Опыт применения сплавов с эффектом памяти формы при сооружении крупногабаритных конструкций в открытом космосе // Журнал технической физики. – Т. 66. № 11, 1996. – С. 153.
- Хусаинов М.А., Попов С.А., Малухина О.А. Оптимизация геометрических параметров сферических сегментов из сплавов никелида титана с эффектом памяти формы // Журнал технической физики. – Т. 85. № 8, 2015. – С. 46-52.
- Василенко А.Ю., Косилов А.Т., Скурихин А.Е. Размерные эффекты гистерезисного поведения при мартенситном превращении в монокристаллах Cu-Al-Ni // Механизмы деформации к разрушению перспективных материалов: Материалы XXXV семинара «Актуальные проблемы прочности». ч.2. – Псков, 1999. – С.350-352.
- Демина М.Ю., Андронов И.Н., Полугрудова Л.С. Влияние конструкционных параметров пружины растяжения из никелида титана на деформации и напряжения, реализуемые при термоциклировании через интервалы мартенситных переходов // Деформация и разрушение материалов. – № 6, 2015. – С. 20-24.

6. Пульнев С.А., Прядко А.И., Ястребов С.Г., Николаев В.И. Эффект памяти формы в монокристаллах Cu-Al-Ni, линейные и вращательные двигатели на их основе // Журнал технической физики. – Т. 88. № 6, 2018. – С. 843-849.
7. Пряхин С.С., Рубаник В.В. Моделирование неупругих процессов в пластине из нитинола при изгибе, снятии нагрузки и последующем нагреве // В сб.: Перспективные материалы и технологии. – Витебск: УО "ВГТУ", 2015. – С. 314-316.
8. Абдрахманов С.А., Кожошов Т.Т., Доталиева Ж.Ж., Джолдошбаева М.Б. Аналитическое исследование реактивных усилий составных пружин, одна из которых обладает свойством памяти формы // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Рazzакова. – № 32-2, 2014. – С. 92-97.
9. Вьюненко Ю.Н. Математическое моделирование деформационных процессов и опыт технологического применения ЭПФ // Фундаментальные проблемы современного машиностроения. – Т. 7. № 3, 2010. – С. 28-31.
10. Вьюненко Ю.Н. Исследование механических характеристик силовых элементов из материалов с ЭПФ // Вест. Тамб. Универс. Серия: Естественные и технические науки – Т.18, вып. 4. – Тамбов. Изд-во: ТГУ, 2013. – С.2023-2024.

УДК 621.923

С.С. Степанов, С.Н. Степанов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ НА КОМПАРАТОРЕ УКМ 100

Введение. В последнее время усилился процесс экономической и научной интеграции международного сообщества [1, 2]. Важным элементом этого процесса является гармонизация стандартов и других нормативных документов, в том числе в области метрологии, с целью устранения барьеров в торговом, промышленном, научном и культурном сотрудничестве.

В 1993 году под эгидой семи международных организаций:

- Международного бюро мер и весов,
- Международной электрической комиссии,
- Международной организации по стандартизации,
- Международной организации законодательной метрологии,
- Международного союза по чистой и прикладной химии,
- Международного союза по чистой и прикладной физике,
- Международной федерации клинической химии

был издан документ «Руководство по выражению неопределенности измерения».

Принципы этого Руководства [3] предназначены для использования в широком спектре измерений, включая те, которые требуются для:

- поддержания контроля качества и обеспечение качества в процессе производства;
- согласованности законов и регулирующих актов;
- проведения фундаментальных и прикладных исследований и разработок науке и технике;
- эталонов и приборов для калибровки и испытаний по всей национальной системе измерений для обеспечения единства измерений и связи с национальными эталонами;
- разработки, поддержание и сличения международных и национальных эталонов единиц физических величин, включая стандартные образцы веществ и материалов.

Руководство приобрело статус неформального международного стандарта.

Учитывая тот факт, что Россия активно участвует в процессе интеграции международного сообщества, остро стоит вопрос о гармонизации отечественных стандартов,

в том числе в области метрологии, с международными нормативными документами. Так в 2012 году введен в действие национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 54500.3-2011 / Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.

Цель работы – обеспечение возможности поверки концевых мер длины 2-го разряда на компараторе УКМ 100. Расчет неопределенности измерений на компараторе УКМ 100. Компаратор УКМ 200 разработан на кафедре «Технология машиностроения» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Прибор предназначен для поверки концевых мер длины 3-4 разряда и рабочих классов точности 1-5.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить факторы, влияющие на неопределенность измерений;
- провести оценку измеряемой величины;
- вычислить суммарную стандартную неопределенность;
- вычислить расширенную неопределенность измерений.

Неопределенность измерений: Параметр, связанный с результатом измерений ихарактеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

Стандартная неопределенность (u): Неопределенность результата измерений, выраженная в виде среднего квадратического отклонения (СКО);

Суммарная стандартная неопределенность (u_c): Стандартная неопределенность результата измерений, полученного через значения других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, причем члены являются дисперсиями или ковариациями этих других величин, взвешенными в соответствии с тем, как результат измерений изменяется при изменении этих величин;

Расширенная неопределенность (U): Величина, определяющая интервал вокруг результата измерений, в пределах которого, как можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могли бы быть приписаны измеряемой величине.

Измеряемую величину Y определяют как [3]

$$Y = f(X_1 \dots X_m) \quad (1)$$

где X_1, \dots, X_m – входные величины непосредственно измеряемые или другие величины, влияющие на результат измерения;

Основным количественным выражением неопределенности измерений является стандартная неопределенность u .

Основным количественным выражением неопределенности измерений, при котором результат определяют через значения других величин, является суммарная стандартная неопределенность u_c .

В тех случаях, когда это необходимо, вычисляют расширенную неопределенность U по формуле

$$U = k \cdot u_c \quad (2)$$

где k - коэффициент охвата (числовой коэффициент, используемый как множитель присуммарной стандартной неопределенности для получения расширенной неопределенности).

Во многих практических случаях [4] при вычислении неопределенностей результатов измерений делают предположение о нормальности закона распределения возможных значений измеряемой величины и полагают: $k=2$ при $p \approx 0,95$ и $k=3$ при $p \approx 0,99$.

Вычисляем стандартную неопределенность по типу А - путем статистического анализа результатов многократных измерений. Исходными данными для вычисления являются результаты многократных измерений: X_{i1}, \dots, X_{ini} (где $i = 1, \dots, m$; n_i - число измерений i -й входной величины).

Стандартную неопределенность $u_a(x_i)$ измерений i -й входной величины, при которых результат определяют как среднее арифметическое, вычисляем по формуле [3]

$$u_a(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - \bar{X}_i)^2} \quad (3)$$

где $\bar{X}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{q=1}^{n_i} X_{iq}$ - среднее арифметическое результатов измерений i -й входной величины.

Вычисляем стандартную неопределенность по типу В - используем данные на набор концевых мер 1-го разряда, а также данные на прибор УКМ 100.

Неопределенности этих данных обычно представляют в виде границ отклонения значения величины от ее оценки. Наиболее распространенный способ формализации неполного знания о значении величины заключается в постулировании равномерного закона распределения возможных значений этой величины в указанных (нижней и верхней) границах для i -й входной величины. Применительно к нашему случаю это будут $u_e(R_a)$ и $u_e(R_B)$ дискретность отсчета прибора УКМ 100, дискретность оценки и предел допустимой абсолютной погрешности оценки концевых мер длины 1-го разряда $u_e(R_l)$.

Далее вычисляем суммарную стандартную неопределенность u_c по формуле

$$u_c = \sqrt{u_a(X_i)^2 + u_B(R_a)^2 + u_B(R_B)^2 + u_B(R_l)^2} \quad (4)$$

где $u_a(X_i)$ - стандартная неопределенность типа А, мкм, вычисляемая по формуле (3).

$u_B(R_a) = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{R_a}{2}$ - стандартная неопределенность от дискретности отсчета прибора УКМ 100;

$u_B(R_B) = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{R_B}{2}$ - стандартная неопределенность от дискретности отсчета при поверке концевых мер длины 1-го разряда.

$u_B(R_l) = \frac{R_l}{3}$ - стандартная неопределенность от предела допустимой абсолютной погрешности концевых мер длины 1-го разряда.

Вычисляем расширенную неопределенность U по формуле

$$U = k u_c \quad (5)$$

Таблица 1. Бюджет неопределенности

Входные величины	Стандартные неопределенности входных величин, мкм	Тип неопределенности	Вклад неопределенности
Среднее значение абсолютной погрешности	0,02	A	0,005
Дискретность М 1000	0,01	B	0,003
Дискретность лазерного интерферометра	0,01	B	0,003
Предел допустимой абсолютной погрешности лазерного интерферометра	0,02	B	0,007
Суммарная стандартная неопределенность абсолютной погрешности u_c , мкм			0,0096
Расширенная неопределенность абсолютной погрешности U с вероятностью 0,95			0,019

Вывод. Как видно из результатов расчетов (таблица 1) расширенная неопределенность измерений на эталонном приборе для поверки ручного инструмента составляет достаточно малую величину по сравнению с допустимой абсолютной погрешностью поверяемых приборов [1, 2]. Поэтому данный прибор УКМ 100 может применяться для поверки концевых мер длины 2-го разряда.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Метрологическое обеспечение производства, Учебник / Любомудров С.А., Степанов С.Н., Тарасов С.Б — Санкт-Петербург, СПбПТУ, 2008
2. Методы и средства измерения в машиностроении Учеб. пособие / С.А. Любомудров, Т.А. Макарова, С.Б. Тарасов. — Санкт-Петербург, СПбГПУ. 2011
3. РМГ 43-2001 ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений»
4. Чуновкина А.Г. Погрешность измерения, неопределенность измерения и неопределенность измеряемой величины. «Измерительная техника», М., 2000, № 7.

УДК 621.91

Е.А. Кунарев, Т.А. Макарова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ И НАПРЯЖЕНИЯ В МАТЕРИАЛЕ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ СТЕЛЛИТОВОГО СПЛАВА

Введение: Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью оптимизации технологических процессов обработки стеллитов, широко используемых в таких областях машиностроения, как судостроение, военная промышленность, и их адаптации современным условиям производства. Лезвийная обработка стеллита является более производительным методом обработки, чем шлифование, но также связана с более высоким риском возникновения брака из-за высоких температур и напряжений в зоне резания. Воздействие комбинации температур выше 720°C и напряжений, превышающих 66 кгс/мм² в поверхностных слоях материала приводит к образованию трещин и задиров на поверхности наплавки.

Цель исследования: Выявление зависимостей между режимами резания и температурой и напряжением в поверхностных слоях стеллитовой наплавки при чистовой обработке.

Задачи:

1. Разработать методику проведения моделирования процесса резания;
2. Разработать модель испытаний для вычислительного эксперимента;
3. Провести вычислительный эксперимент;
4. Выявить зависимости между режимами резания и описанными в п.1 характеристиками процесса резания.

В качестве исследуемого материала выбран стеллит В3К, состав и характеристики которого приведены в таблицах 1 и 2 [1-3].

Эксперименты по выявлению данных зависимостей проведены с использованием программного комплекса «Deform-3D», позволяющего производить имитацию процесса резания с помощью встроенного приложения «Machining 3D». В качестве режущего инструмента выступает твердосплавная пластина Sandvick Coromant TPGW110304S01020F 7015, условия обработки-чистовое резание с применением СОЖ.

Таблица 1. Химический состав стеллита В3К

Тип электро- да	Марка	Химический состав наплавки, %							Твердость, РС	Область применения
		C	Si	W	Cr	Co	Fe	Ni		
ЦН-2	В3К	1.7- 2.0	2.0- 2.5	4-5	28- 32	59- 66	3.5	-	45-53	Уплотняющие поверхности арматуры

Таблица 2. Механические свойства стеллита В3К

σ_b , кгс/мм ²	Температура плавления T , °C	Твердость HRC
60-70	1275	40...45

На количество теплоты, выделяющейся в процессе обработки, влияют многие технологические факторы. В рамках данного исследования произведена оценка влияния таких параметров, как глубина резания t , величина подачи s и скорость резания v [4 -6].

В ходе проведения вычислительного эксперимента были получены результаты, представленные в таблицах 3-5.

Таблица 3. Температура резания при глубине резания $t = 0.1$ мм

Температура T , °C		Скорость резания, v , м/мин				
		20	30	40	50	60
Подача, s , мм/об	0.1	261	351	424	486	515
	0.2	311	401	461	536	601
	0.3	342	437	501	623	662

Таблица 4. Температура резания при глубине резания $t = 0.15$ мм

Температура T , °C		Скорость резания, v , м/мин				
		20	30	40	50	60
Подача, s , мм/об	0.1	359	444	505	553	553
	0.2	425	521	598	637	653
	0.3	475	554	658	712	720

Таблица 5. Температура резания при глубине резания $t = 0.25$ мм

Температура T , °C		Скорость резания, v , м/мин				
		20	30	40	50	60
Подача, s , мм/об	0.1	312	363	474	534	580
	0.2	361	445	550	621	666
	0.3	391	498	598	687	737

Данные, полученные в результате вычислительных экспериментов были аппроксимированы методом планирования эксперимента при трех параметрах, в результате чего была получена следующая линейная функция:

$$T = 10^{2.0325} v^{0.5866} t^{0.146} s^{0.222} \quad (1)$$

В таблицах 6-8 приведены результаты аналогичных экспериментов по выявлению зависимости между напряжениями в наплавке и режимами резания.

Таблица 6. Напряжение в наплавке при глубине резания $t = 0.1$ мм

Напряжение σ , Мпа		Скорость резания, v , м/мин				
		20	30	40	50	60
Подача, s , мм/об	0.1	443	483	506	517	533
	0.2	469	504	521	545	554
	0.3	485	515	534	553	576

Таблица 7. Напряжение в наплавке при глубине резания $t = 0.15$ мм

Напряжение σ , Мпа		Скорость резания, v , м/мин				
		20	30	40	50	60
Подача, s , мм/об	0.1	465	502	516	542	550
	0.2	485	520	538	563	578
	0.3	504	528	552	576	592

Таблица 8. Напряжение в наплавке при глубине резания $t = 0.25$ мм

Напряжение σ , Мпа		Скорость резания, v , м/мин				
		20	30	40	50	60
Подача, s , мм/об	0.1	484	523	540	565	572
	0.2	508	539	563	586	598
	0.3	520	557	581	596	611

По результатам обработки данных, полученных в ходе эксперимента, была получена следующая линейная функция

$$\sigma = 10^{2.5962} \cdot v^{0.155} \cdot t^{0.078} \cdot s^{0.0691} \quad (2)$$

В ходе проведения исследования сделаны следующие выводы:

1. На температуру T в наплавке существенное влияние оказывает скорость резания, в меньшей степени влияет значение подачи и глубины резания. Критический уровень температуры в $T = 720$ °C в ходе экспериментов был достигнут при комбинированном $v \geq 50$ м/мин; $s = 0.3$ мм/об; $t \geq 0.15$ мм;
2. На напряжение σ в наплавке наибольшее влияние оказывает скорость резания, в меньшей степени влияет значение подачи и глубины резания. Критический напряжения $\sigma_b = 647.2$ МПа в ходе экспериментов был достигнут не был;
3. Полученные в ходе исследования уравнения (1, 2) будут использованы как теоретическая основа для проведения экспериментов по обработке стеллитов с использованием станочного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Matweb.com Material property data. [Электронный ресурс] <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=bcefe3581fad480fa0c0c33f12ca76cc&ckck=1> (Дата обращения 17.04.2018)
2. Арматэк. Материалы для изготовления трубопроводной арматуры. [Электронный ресурс]. http://armatek.ru/about/truboprovodnaya_armatura/materialy (Дата обращения 01.02.2019).
3. Гемпел К.А. Справочник по редким металлам [Текст]. Пер. с англ. - М.: Мир, 1965. - 946 с., ил.

4. Переплётчиков Е.Ф. Механизированная наплавка кобальтовых сплавов в арматуростроении [Текст] / Е.Ф. Переплётчиков// Технологии обработки поверхности. – 201. - № 15. – С. 64-67.
5. Резание материалов. Режущий инструмент в 2 ч. Часть 1: учебник для академического бакалавриата / С.Н. Григорьев [и др.] ; под общей редакцией Н.А. Чемборисова. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 263 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-00115-0. — [Текст]: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/420912> (дата обращения: 13.03.2019).
6. Шифрин, Абрам Шмерович. Обработка резанием коррозионностойких, жаропрочных и титановых сталей и сплавов [Текст] / А.Ш. Шифрин, Л.М. Резницкий ; Под ред. канд. техн. наук Л.М. Резницкого. - Москва ; Ленинград : Машиностроение. [Ленингр. отд-ние], 1964. - 447 с. : ил.; 21 см.

УДК 658.51:512.09

К.К. Маратов, В.И. Слатин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АДАПТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗДЕЛИЯ «КОРПУС СТАТОРА»

В данной работе нами сделана попытка адаптации технологического процесса производства изделия корпусного класса к условиям мелкосерийного производства. Рассматриваемая в данной работе конструкция изделия «корпус статора» относится к технологическому классу корпусных деталей и представляет собой изделие сложной пространственной формы с высокими требованиями по точности размеров (в пределах 6 – 8 квалитетов), формы и взаимного расположения поверхностей (в пределах 6 – 7 степеней точности), а также шероховатости точных обрабатываемых поверхностей не выше 2,5 мкм по критерию среднего арифметического отклонения профиля. Деталь является основой корпуса циркуляционного насоса, который обеспечивает высокопроизводительную прокачку газонефтепродуктов от источника к потребителю

Тип производства был квалифицирован нами по коэффициенту закрепления операций, и безусловно с учетом массы детали и объема выпуска. Исходными данными для определения партии запуска и такта выпуска являлся также тип производства, и в соответствии с заданием он был признан мелкосерийным.

Для разработки технологического процесса в этих условиях был проведен подробный анализ исходных данных с целью определения соответствия детали и ее заготовки к обработке на станках с ЧПУ, по известным методикам [1].

Корпусные детали такого типа получают, как правило, литьём. Учитывая серийность производства и себестоимость получения отливки, был выбран способ получения заготовки – литьё в песчаные формы ручной или машинной формовки. Деталь «Корпус редуктора» изготавливается из серого чугуна. Изделие «Корпус редуктора», как и многие корпусные детали этого класса имеет достаточно сложную форму, а также внутреннюю полость с отверстиями. В данном технологическом процессе предусмотрено химическое оксидирование для пассивации металлических поверхностей с целью защиты их от коррозии, а также для нанесения декоративных покрытий на чёрные и цветные металлы и сплавы [2].

Указанные на чертеже допускаемые отклонения размеров, классы шероховатости поверхности позволяют вести чистовую обработку на станках нормальной точности. Технические требования изделия в полном объеме соответствуют назначению детали. Техническая документация содержит все необходимые сведения, дающие полное представление о детали и однозначно объясняют её конфигурацию и возможные способы получения заготовки. Анализ чертежа показал, что все осевые и диаметральные размеры

указаны с необходимыми допусками, содержатся все необходимые классы шероховатости обрабатываемых поверхностей, допускаемые отклонения от правильных геометрических форм, а так же взаимное расположение поверхностей. Техническая документация содержала все необходимые сведения о материале и весе детали, простановка линейных размеров обеспечивает минимальное количество операций. Имеются четкие границы между чисто обработанными поверхностями и менее чисто обработанными [3]. Практически ко всем поверхностям имеет место свободный доступ инструмента. Оценивая изделие в целом следует признать, что деталь является технологичной.

При разработке технологического процесса нами была определена последовательность смены технологических баз, для получения требований, указанных на чертеже детали; подобрано станочное оборудование; режущий инструмент, средства измерения и контроля, станочные приспособления, обеспечивающие базирование на выбранные технологические базы. Введение в технологический процесс механической обработки двух программных операций (№15) и (№20) позволило значительно усовершенствовать процесс изготовления изделия, сократить основное и вспомогательное время и получить заданные требования по критериям качества.

Были предложены специальные приспособления, обеспечивающие требуемую производительность технологического процесса и повышающие технологические возможности используемого оборудования при обработке данной детали.

При разработке специальной технологической оснастки была предложена принципиальная схема приспособления, были определены необходимые силы зажима, в соответствие с ними подобраны зажимающие механизмы, определены погрешности обработки.

При разработке технологических операций обработки, была тщательно выбрана последовательность технологических переходов для обеспечения требуемой точности на данном каждом этапе обработки.

Были приняты прогрессивные режимы резания для условий реализации технологического процесса на выбранных станках. Установка заготовки на станке осуществляется с помощью специальных средств технологической оснастки, которые позволяют реализовывать выбранные схемы базирования, повысить точность размерных параметров изделия.

В новом технологическом процессе за основу были приняты следующие решения :

- Изменение технологии обработки корпуса статора в местах установки подшипников позволяет улучшить сопряжение червячной пары и уменьшить шумы при работе статора и его нагрев.

- Реализованная специальная механическая обработка, позволяет обеспечить устойчивую установку и монтаж статора.

Новизной решений предлагаемого технологического процесса безусловно следует назвать также применяемые средства технологического оснащения. К ним следует отнести инструментальное оснащение технологического процесса, представленное группой токарных резцов, сверл и фрез фирм Sandvik (Швеция), Guhring(Германия) и Titex Plus (Швеция).

Контрольный инструмент был представлен типовым набором современных измерительных средств контроля класса «Mikromag» фирмы Mahr (Германия), штангенинструментами класса «Mar Cal» и «Mitutoyo», а также профилометрами «Mar Surf PS1» и «Сейтроник ППШ8-1»

Современное оборудование с числовым программным управлением, применяемое в разработанном технологическом процессе, позволяет реализовать на одном рабочем месте различные виды механической обработки, черновую, получистовую и финишную, с применением одного вида технологической оснастки. Такой подход позволяет значительно

уменьшить количество операций и переходов технологического процесса, сократить время производственного цикла изделия, снизить себестоимость единицы продукции.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кушнер В.С. Технологические процессы в машиностроении: Учебник для студентов высших учебных заведений. // В.С. Кушнер, А.С. Верещака, С.И. Богодухов. – М.: ИЦ «Академия», 2016. – с. 416.
2. Рогов В.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Штамповочное и литейное производство: учебник для вузов. // В.А. Рогов, Г.Г. Позняк. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство «Юрайт» 2019. с. 319.
3. Виноградов В.М. Технологические процессы автоматизированных производств: Учебник. // В.М. Виноградов, А.А. Черепахин, В.В. Клепиков. – М.: «Инфра-М», 2018. – с. 47.

УДК 621.01

В.Э. Анисимова, С.А. Любомудров

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПРОРАБОТКА ВОПРОСОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

Данная работа посвящена улучшению качества изготовления детали «Колесо». К данному изделию (производитель ПАО «Звезда») предъявляются повышенные требования к точности и надёжности. Для улучшения качества изготовления детали было модернизировано установочно-зажимное приспособление, изменена заготовка, а также был модернизирован технологический процесс.

В течение последнего времени выполнялось большое количество исследование погрешностей различных технологических процессов зубообработки, из-за необходимости повышения точности зубчатых колес [1]. Данные исследования обобщают богатый производственный опыт изготовления зубчатых колес и, благодаря развитию теории в данной области, способствуют улучшению технологии их изготовления. Использование результатов данных исследований должно способствовать повышению точности изготовления зубчатых передач.

В качестве объекта для модернизации был выбран блок косозубых цилиндрических зубчатых колес. Данный выбор обусловлен тем что, на эту деталь приходятся повышенные нагрузки, вследствие чего необходимо тщательно проработать технологию ее изготовления для повышения надежности и долговечности.

Деталь является частью редуктора. Крепление данного зубчатого колеса происходит при помощи цилиндрических штифтов Ø10 мм. Так же перед установкой блока в узел его необходимо балансировать и цементировать зубья. Условия работы блока зависят от скорости вращения и состояния зубьев как самого блока, так и сопряженных с ним колес. Контроль параметров точности производится в процессе изготовления до нарезания зубьев [2, 3].

Так же необходимо окончательно обработать зубья колеса и базовую поверхность (рисунок 1) непосредственно в блоке.

При испытаниях узла, колесо не выдерживало напряжения, вследствие чего происходила поломка. В процессе исследования было выявлено, что в сборочном узле данная поверхность (рисунок 1) не удовлетворяла требованиям твердости. Такая ситуация возникла в результате того что в процессе обработки данной поверхности в сборе, весь цементированный слой был с нее снят.

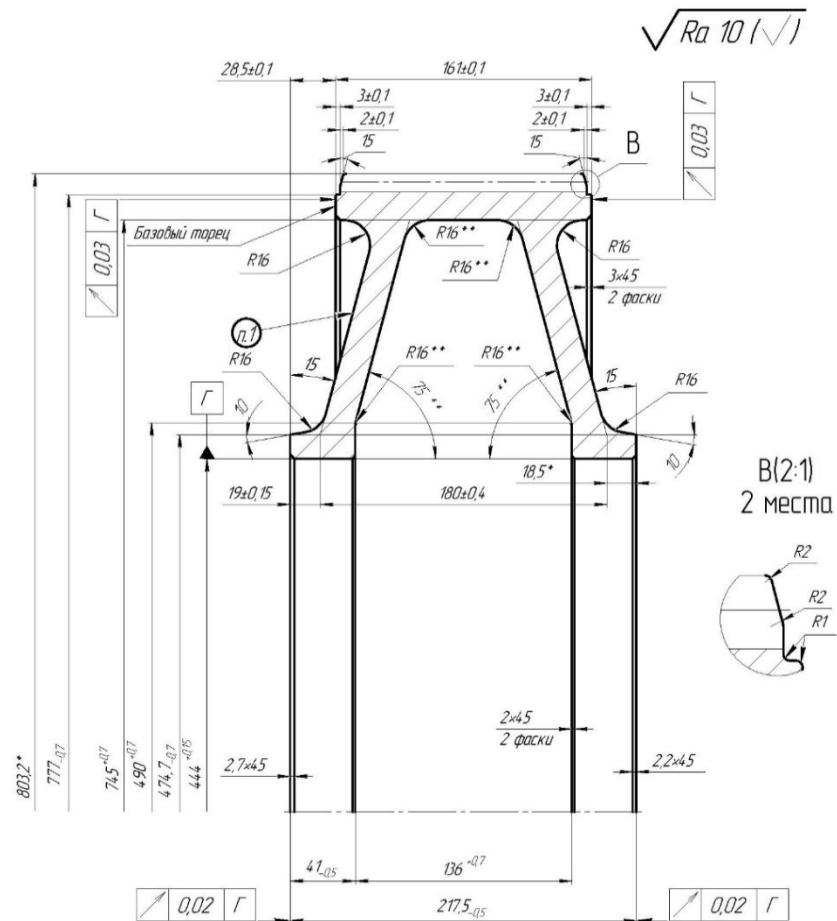


Рисунок 1. Эскизы технологического процесса обработки после закалки базового технологического процесса

Анализ технологического процесса изготовления зубчатого выявил следующую проблему.

В базовом варианте заводского технологического процесса данная поверхность обрабатывается без скоса под углом 30°, далее заготовку подвергают цементации и закалке, после чего опять данную поверхность обрабатывают без скоса под углом 30°. И только сборочном узле делают данный скос. Таким образом весь цементированный слой снимается, что приводит к тому что данная поверхность не справляется с нагрузками и соответственно весь узел не работает.

Для улучшения качества изготовления детали «Колесо» было принято следующее решение:

На самых первых операциях, когда обрабатывается эта поверхность необходимо сразу делать скос под углом 30°. Соответственно после цементации и закалки, когда эта поверхность необходимо опять обработать, обработку провести также под углом 30° (рисунок 2).

Выводы:

1. Выполненное улучшение позволяет сохранить твердость поверхностного слоя, при обработке сборочного узла.

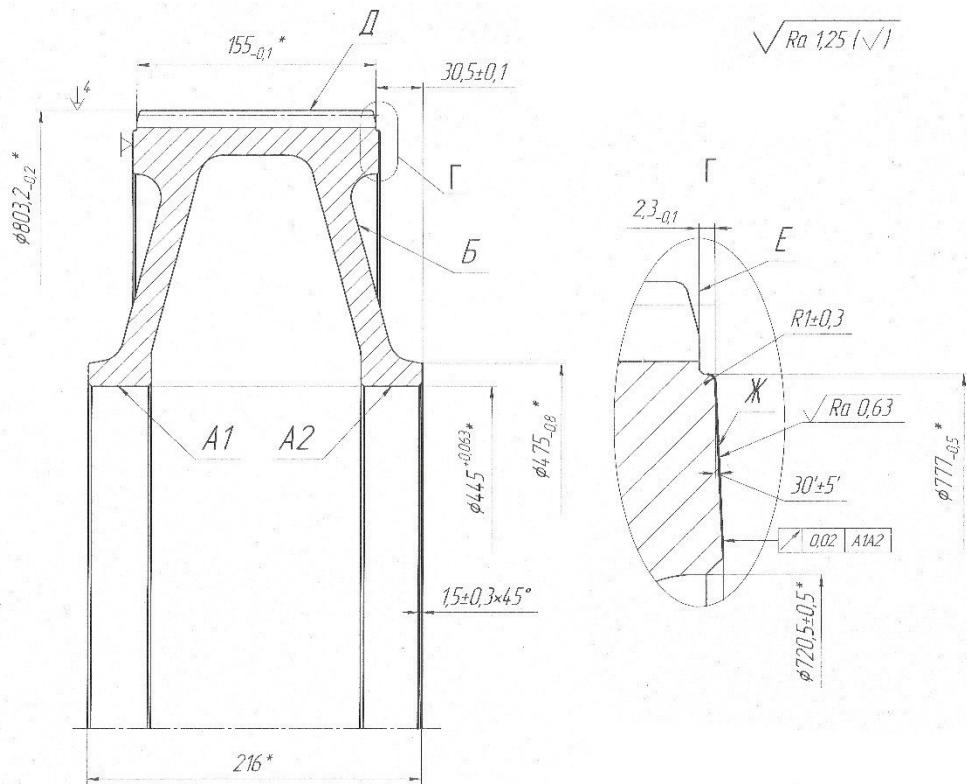


Рисунок 2. Эскизы технологического процесса обработки после закалки в предлагаемом технологическом процессе

2. Предлагаемый технологический процесс позволяет увеличить качество изготавливаемого сборочного узла, так как вследствие сохранения твердости при обработке детали на поверхности, увеличивается срок службы сборочного узла.

ЛИТЕРАТУРА:

- Литвинов В.И. Проработка вопросов повышения качества зубчатых колес // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электр. сб. ст. по мат. XLVI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 6(46).
- Жуков Э.Л., Технология машиностроения. Часть 2: Учебное пособие. Э.Л. Жуков, И.И. Козарь и др. – СПб: СПбГТУ, 2008. – 498с.
- Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей: П80 Произв.-практ. издание / Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, И.П. Нежурин и др.; Под ред. Ю.С. Елисеев. – М.: Высш. Шк., 2001. – 493 с.

УДК 681.7.023.73

И.С. Савельев, В.И. Слатин, Ли Шуньцай
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССА ПОЛИРОВАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Процессы полирования малоразмерным инструментом имеют ряд особенностей. Основная часть этих особенностей обусловлена формой следа, оставляемой инструментом на обрабатываемой поверхности и связью формы этого следа с режимами обработки.

Особенностью этого процесса является также то принципиальное обстоятельство, что полирование малоразмерным инструментом осуществляется в автоматическом режиме, ключевыми компонентами данной технологии является программное обеспечение [1, 2].

Рассмотрим более подробно вопрос создание процедуры определения инструментальной функции при различных режимах обработки и построения на основе этих данных обобщенных зависимостей, обеспечивающих определение профиля съема материала для произвольной комбинации режимов обработки.

Правильное формирование и задание инструментальной-функции (ИФ) должно обеспечить систему ЧПУ необходимой информацией по выбору режима обработки, при котором величина удаляемого материала будет соответствовать требованиям на получения заданного результата обработки.

Инструментальная функция описывает профиль следа инструмента на поверхности обрабатываемого материала при определенных значениях параметров обработки. Получения данных об указанном профиле реализовывалось путем следующих процедур.

Принималась заготовка с достаточно плоской поверхностью из того материала для которого будет производится определение ИФ. Основной технологический инструмент – полировальник устанавливается в рабочее положение. Процесс полирования сопровождается необходимой подачей эмульсии соответствующей разрабатываемой технологической модели.

Для осуществления технологических переходов процесса в соответствии со специально разработанной для этой цели наладочной программой, задавалась зигзагообразная траектория, состоящая из набора прямолинейных участков на каждом из которых поддерживается свой постоянный в пределах данного участка режим обработки. Диапазон варьирования режимов обработки и требуемое количеством точек для определения зависимости ИФ определял количество участков. Производилась обработка пробного образца в соответствии с указанной программой [3]. В целях исключения дублирования траекторий, выбор положения обрабатываемых участков на поверхности образца производился таким образом, чтобы инструмент при обработке каждого участка не перекрывал другие обрабатываемые участки.

В качестве измерительной технологической оснастки в наших экспериментах применялся профилометр, на который после завершения обработки переносилась деталь. Измерение производилось вдоль линий, являющихся поперечными сечениями каждого участка обработки. При этом особое внимание уделялось тому обстоятельству, которое требовало чтобы кроме профиля следа инструмента в него попадали также участки необработанной поверхности слева и справа от профиля.

В условиях испытаний, когда отсутствует возможность использования пробной заготовки с высоким качеством начальной поверхности, необходимо заранее до начала обработки наметить обрабатываемые участки и произвести предварительный обмер исходной поверхности по тем же самым сечениям, по которым будет производиться обмер по завершению обработки. Эти результаты будут использоваться для вычитания базовой линии из результирующего профиля.

Соблюдение всех вышеназванных условий измерительной процедуры, обеспечивает получение профиля, являющегося суммой собственно искомой ИФ и первичного профиля поверхности. Следует подчеркнуть, что определению параметров ИФ предшествует ряд операций основной целью которых является выделение из полученного экспериментальной картины профиля инструментальной функции. Эта процедура может быть осуществлена двумя способами:

- вычитанием базовой линии, определяемой по кускам профиля, расположенным слева и справа от ИФ;

- вычитанием профиля, исходной поверхности, измеренным до проведения обработки.

Покажем реализацию второй процедуры. Исходный вид профиля поверхности до обработки в одном из сечений представлен на рисунке 1. Единицами измерения по горизонтальным и вертикальным осям приняты миллиметры.

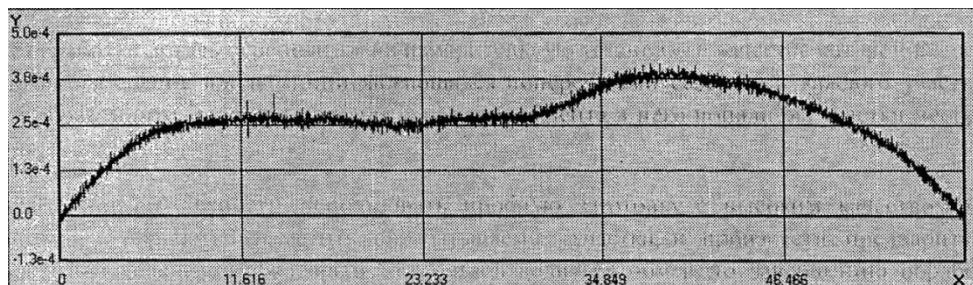


Рисунок 1. Вид профиля поверхности перед обработкой

Результат осуществления программы по получению параметров ИФ в том же самом сечении показал, что профиль принял вид, представленный на рисунке 2. Здесь очевидно, что след инструмента имеет вид пика. Правильный учет значения процесса обработки в результирующий профиль сопровождается отделением составляющей начального профиля под следом инструмента. Это выполняется вычитанием профиля рисунок 1 из профиля рисунок 2.

Если профиль начальной поверхности не определен, то на основе анализа формы профиля с двух сторон, слева и справа от пика можно определить характер изменения базовой линии под пиком и вычесть этот вклад из экспериментального профиля для определения ИФ.

Применительно к примеру, представленному на рисунке 2 в результате получается профиль, показанный на рисунке 3.

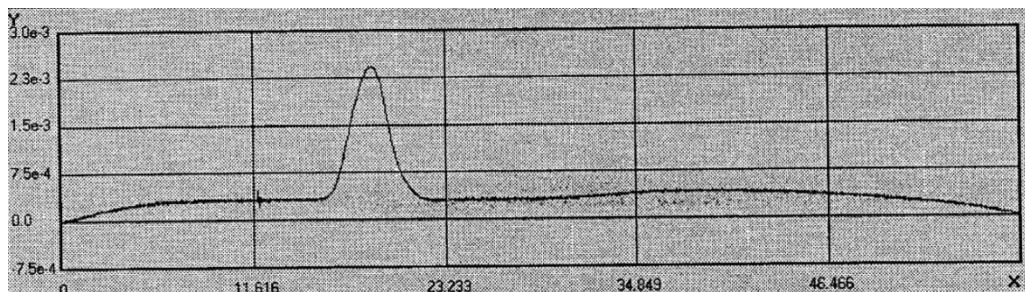


Рисунок 2. Вид экспериментального профиля того же участка поверхности, что и на рисунке 1., но после обработки по программе определения ИФ

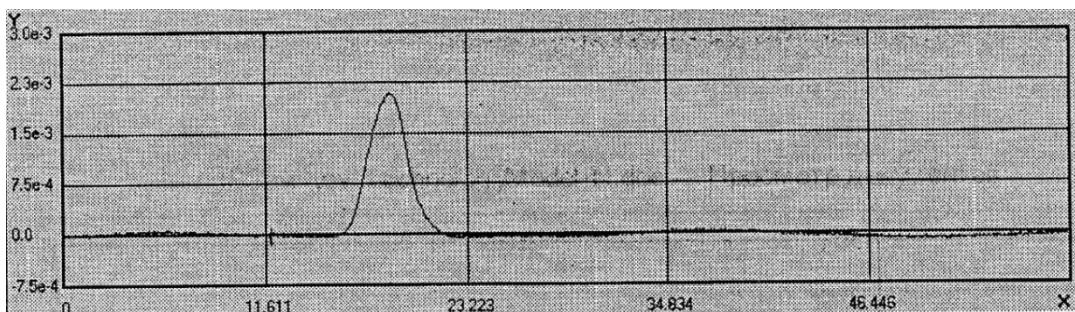


Рисунок 3. Результат выделения фоновой составляющей из профиля рисунок 2

Важным этапом обработки результатов является определение параметров ИФ. Здесь следует построение технологической модели по результатам определения ИФ.

Результаты, описывающие ИФ, для определенной комбинации «материал-инструмент-угол наклона» объединяются в общую структуру, которую следует признать Технологической Моделью (ТМ).

По результатам, включенным в ТМ, производится расчет зависимостей, позволяющих определить профиль съема для определенной комбинации режимов обработки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Савельев И.С. Программное обеспечение технологии полирования малоразмерным инструментом подложек элементов рентгеновской оптики. // Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики : тезисы докладов конференции ФИАН, 2009 – с.52.
2. Savelyev L.S. Software for Polishing Technology for X-ray Optical Element Substrates Using Small-Sized Tools. // Bulletin of the Lebedev Physics Institute № 11 (36): Allerton Press, Inc. distributed exclusively by Springer Science + Business Media LLC, 2009 – page 333 – 334.
3. Савельев И.С. Программная поддержка технологии производства подложек многослойных интерференционных структур. // Нанофизика и наноэлектроника: Труды XIV международного симпозиума, Нижний Новгород : Институт физики микроструктур РАН, 2010 – с. 604-605.

СЕКЦИЯ «ТРАНСПОРТНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

УДК 62-529; 629.03; 629.36

А.С. Меркулов, Р.Ю. Добрецов, Я.Г. Пуказов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОЛЕСНЫХ ПЛАТФОРМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВНУТРИЗАВОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Общие положения. Автоматически управляемое транспортное средство или Automated Guided Vehicle (AGV) представляет собой тележку, предназначенную для перемещения грузов на территории производственного предприятия, доставки их на линию сборки и подсборки, посредством зацепа тележки с помощью специального выдвижного штока, называемого пином, и перекатывания их за собой по фиксированным маршрутам. Типовая конструкция таких тележек включает: два электромотора, установленные на поворотной платформе и соединенные посредством цепного привода с ведущими колесами, несколько опорных-направляющих колес, сканер безопасности, а также различные вспомогательные приспособления и датчики.

Актуальность работы обусловлена потребностью производств в AGV, имеющей равные длину и ширину и имеющей возможность передвигаться в произвольном направлении, в частности, поворачивать на прямой угол без поворота корпуса тележки (позиция 2, рисунок 1), тем самым сохраняя минимальный коридор для движения.

Минимизация пространств, выделяемых под движение AGV на производстве, является важной частью оптимизации цеха [1].

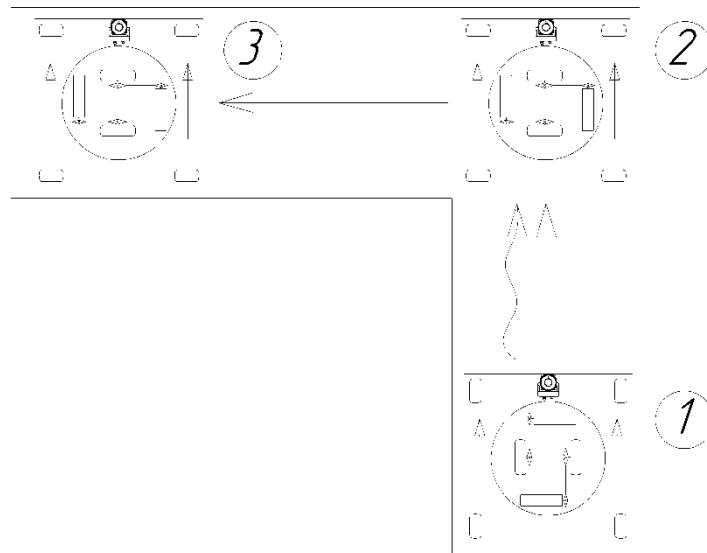


Рисунок 1. Схема прохождения прямых углов

Для данной задачи движения AGV разделены на два вида:

1. Регулярное движение AGV – движение по криволинейным и прямолинейным траекториям передней частью вперед в цехе при перевозке деталей (позиция 1, рисунок 1);

2. Нерегулярное движение AGV – движение, при котором боковые части AGV направлены по ходу движения (позиция 2, рисунок 1).

Особенности конструкции. Для обеспечения устойчивого прямолинейного движения AGV поворачивающая силовым методом за счет поворота «драйв юнита», должна иметь направляющие колеса, оси стоек которых неподвижны относительно корпуса. Такие колеса обычно устанавливаются в задней части тележки. Главной особенностью конструкции, обеспечивающей вид движения, показанный на рисунке 1, является комплект управляемых колес – два в носовой части AGV, и два – в хвостовой. В любой момент движения необходимо иметь зафиксированные по ходу движения или управляемые задние направляющие колеса и управляемые передние.

Для управления любой автоматической системой необходимо располагать определенным объемом информации [2]. Существует несколько видов систем бортовых информационно-измерительных устройств: радиолокационные, лазерные, ультразвуковые измерители, доплеровский измеритель скорости, телевизионные системы и контактные методы измерения параметров. Для обеспечения стабильной работы AGV выбраны (рисунок 2): индуктивный датчик для обнаружения груза, лазерный сканер безопасности, установленный в носовой части AGV, для обнаружения помех по ходу при регулярном движении, ультразвуковые датчики для обнаружения помех при нерегулярном движении, датчик магнитной ленты (Magnetic guided sensor), предназначенный для распознавания и определения позиции магнитного поля от магнитной ленты для корректировки отклонения AGV от предписанного маршрута [3]. Альтернативой магнитной ленты может служить позиционирование по внутризаводским Wi-Fi меткам.

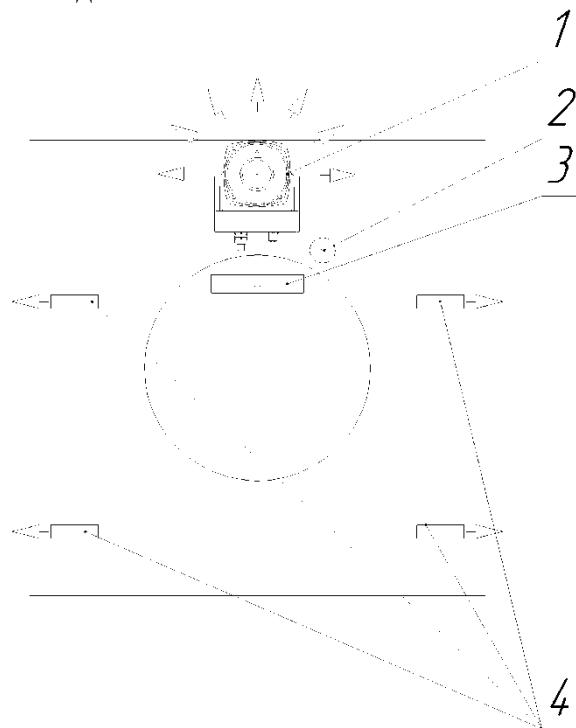


Рисунок 2. Схема установки датчиков на AGV: 1 – лазерный сканер безопасности, 2 – индуктивный датчик, 3 – датчик магнитной ленты, 4 – ультразвуковые датчики

Для данной AGV выбрана схема с двумя ведущими колесами и четырьмя управляемыми ведомыми (рисунок 3). Ведущие колеса установлены на поворотной подрессоренной платформе, врачающейся при силовом повороте и позволяющей проходить AGV криволинейные траектории при регулярном движении, а также осуществлять движение нерегулярное при повороте платформы на 90° и более.

Оси стоек управляемых колес приводятся в движение актуаторами вращения, имеющими в составе электродвигатели и червячные редуктора. Выбор такой схемы управления колесами обоснован простотой конструкции, малыми габаритами привода, широким ассортиментом актуаторов вращения на рынке, в том числе от российских производителей [4]. Недостатком такого решения является сложность согласования углов поворота управляемых колес, что требует как наличия датчиков на осях управляемых колес, так и на поворотной платформе, позволяющих отслеживать угол поворота.

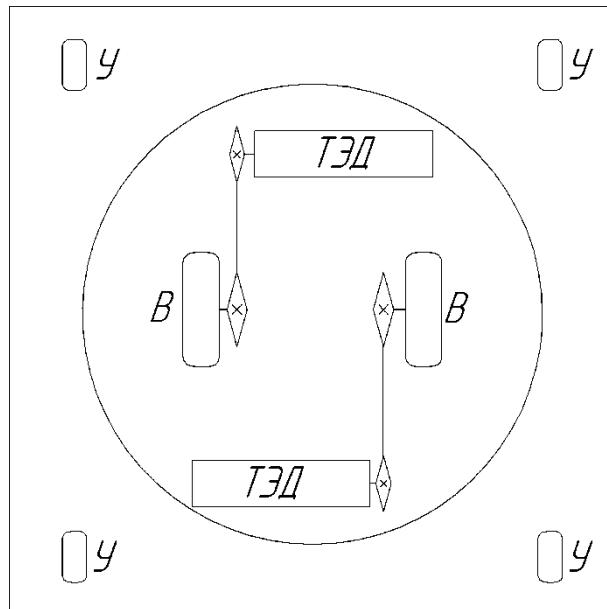


Рисунок 3. Схема AGV:
У – управляемые колеса, В – ведущие колеса, ТЭД – тяговый электродвигатель

Выходы. Как результат получаем маневренное универсальное внутризаводское транспортное средство, способное выполнять уникальные задачи, не производя глобального усложнения стандартной схемы таких тележек. Усложнение программной части нивелируется развитым ассортиментом блоков управления, программируемых логических контроллеров, способных отработать сложную математическую модель управления, записанную в них.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сушко А.В. Полицинская Е.В. Управление и организация производством на предприятии: теоретический аспект. Электронное учебное пособие / А.В. Сушко, Е.В. Полицинская. – ЮТИ ТПУ, 2015.
2. Авотин Е.В. Автоматическое управление транспортными средствами: учеб. пособие / Е.В. Авотин, Р.Ю. Добрецов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 92 с.
3. Электроника¹ «Специальное конструкторское бюро приборов подземной навигации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://prom-electronics.ru/produktsiya/datchik-magnitnoj-lentyi.html> – Датчик магнитной ленты. – (Дата обращения 09.10.2019).
4. Актуатор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aktuator.ru> – Актуаторы линейные, актуаторы вращения. – (Дата обращения 25.09.2019).

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ АВТОМОБИЛЬНАЯ ПАРКОВКА СТЕЛЛАЖНОГО ТИПА СО ШТАБЕЛЕРОМ

Введение. В настоящее время в Санкт-Петербурге на 1000 жителей приходится более 300 машин, поэтому проблема парковки автомобилей стоит особенно остро. Перегруженные транспортные пути и развязки, часовые «пробки» и плотно заставленные машинами тротуары и даже газоны во дворах становятся привычным явлением. В центре города и, тем более, в местах большого скопления людей (торговые центры, бизнес-центры, аэропорты и вокзалы) нет достаточных площадей, чтобы обеспечить необходимое количество парковочных мест. Решить задачи компактной, безопасной, быстрой и удобной парковки автомобилей могут автоматизированные многоярусные парковки. Автоматизированные парковки могут применяться как для краткосрочной стоянки (офисы, торговые центры), так и долгосрочной стоянки, к примеру, на период отпуска или командировки, вблизи аэропортов и вокзалов.

Актуальность. Актуальность работы заключается в необходимости решения проблемы компактного хранения автомобилей в условиях городской среды.

Цель работы. Целью настоящей работы является анализ существующих автоматизированных парковок, выбор и проектирование средств механизации для размещения и хранения машин, а также формирование технического задания на проектирование автоматизированной автомобильной стоянки.

Выбор автоматизированной автомобильной парковки производится по следующим критериям: энергоемкость и надежность системы, производительность (количество размещаемых автомобилей за единицу времени), высота и площадь, занимаемая парковкой, класс автомобилей, экономичность внедрения и эксплуатации.

На рынке существует множество предложений о продаже автоматической автомобильной парковки карусельно-роторного типа (Рисунок 1).



Рисунок 1. Автомобильная парковка карусельно-роторного типа

Главным преимуществом карусельной парковки является экономия места (такая парковка занимает площадь трёх парковочных мест при вместимости 12 машин). Кроме того, данный комплекс является мобильным, то есть может перемещаться. Существенным недостатком такой модели является значительная энергоемкость, заключающаяся в том, что по мере загрузки парковки автомобилями, будет требоваться перемещать все уже стоящие

машины для размещения новой. Большим минусом можно считать и достаточно внушительные первоначальные вложения, стоимость карусельной парковки вместимостью 12 машин составит около 10 млн. рублей. Максимальное количество машиномест, на которое можно рассчитывать при покупке парковки карусельного типа, 16. Исходя из соображений ограниченной вместимости при достаточно больших габаритах и большой энергозатратности парковки такого типа, было принято решение уйти от данного вида конструкции и разработать более вместительную парковку.

Для определения параметров автостоянки необходимо было задать ограничение на габариты и массу автомобилей. Согласно данным Ассоциации Европейского бизнеса по итогам продаж автомобилей за сентябрь 2019 года [1], самыми продаваемыми стали машины классов Си D. Важно учесть, что конструкция автостоянки должна соответствовать СНиП 21-02-99 [2]. Соответственно, размеры ячейки были назначены с учетом габаритов машин класса D и являются подходящими для классов A, B и C. Грузоподъемность штабелера назначили в соответствии со средней массой автомобиля в классе D. Согласно информации и критериям, которые были представлены ранее, наиболее подходящим решением для проектируемой автомобильной парковки является вариант организации стеллажной системы хранения автомобилей, для обслуживания которой будет использоваться автомобильный штабелер. Техническое задание для проектирования такой автоматизированной парковки сведено в таблицу 1.

Таблица 1. Технические характеристики автоматизированной автомобильной парковки

Критерий	Значение	
Параметры ячейки стеллажа	Ширина	2,5 м
	Глубина	5 м
	Высота	1,5 м
Габаритные размеры конструкции	Ширина	7,5 м
	Глубина	5 м
	Высота	20 м
Грузоподъемность	2,5 т	
Скорость подъема	0,5 м/сек	
Скорость механизма смещения	0,1 м/сек	
Производительность	12 авт./час	

При проектировании автоматизированной автомобильной парковки были рассмотрены несколько вариантов размещения автомобилей (Рисунок 2). Так, перпендикулярное размещение машин, которое является более экономичным с точки зрения площади, требует большего смещения автомобиля штабелером, что значительно усложняет его конструкцию, поэтому параллельный вариант размещения был выбран как наиболее предпочтительный. Вариант размещения «елочкой» не рассматривался из-за сложности позиционирования и размещения автомобилей под углом.

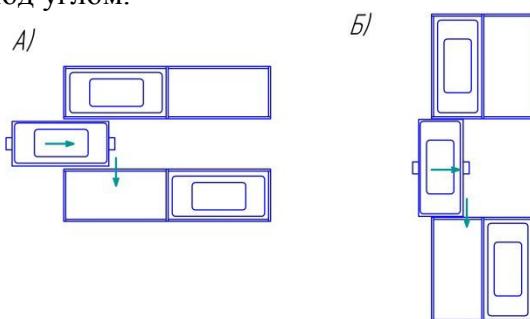


Рисунок 2. Варианты размещения автомобилей: а) – параллельное; б) – перпендикулярное

Были рассмотрены так же несколько вариантов механизмов смещения автомобилей. По типу применяемой системы перемещения автомобиля парковки можно разделить на два типа: паллетные и беспаллетные. Паллетные системы в данном случае не рассматриваются, так как они отличаются меньшей оперативность работы по сравнению с беспаллетными и требуют дополнительных площадей для хранения паллет. В системах, в которых отсутствуют паллеты, существует множество вариантов смещения автомобиля в ячейку, например, система захвата колес «ножницы». Этот механизм представляет собой решетчатую систему с раздвигающимся захватным механизмом. Существуют варианты беспаллетных парковок с фиксированной и раздвижной решетчатыми системами. Для данной парковочной системы механизм смещения автомобиля было решено выполнить с использование телескопических вил штабелера, которые при смещении на расстояние необходимое, чтобы передать автомобиль ответным вилам полки стеллажа, посредством вертикального смещения будут размещать автомобиль в ячейке стеллажа [3].

На данный момент произведена компоновка системы согласно установленным критериям (Рисунок 3). Стеллажная система состоит из двух стеллажей с десятью парковочными секциями в каждом, которые располагаются с двух сторон от штабелера. В каждом стеллаже на первом ярусе располагается техническое помещение для оператора и аппаратуры высотой 2 метра. При необходимости (ограничении по высоте) количество секций может быть сокращено, тогда один штабелер сможет обслуживать большее количество стеллажей. Также штабелер может быть сделан неподвижным (подъемник). Конструкция стеллажа предусматривает возможность обшивки укрывным материалом для осуществления долгосрочного хранения.

В рамках данной работы в дальнейшем предполагается проектирование стеллажной системы и штабелера.

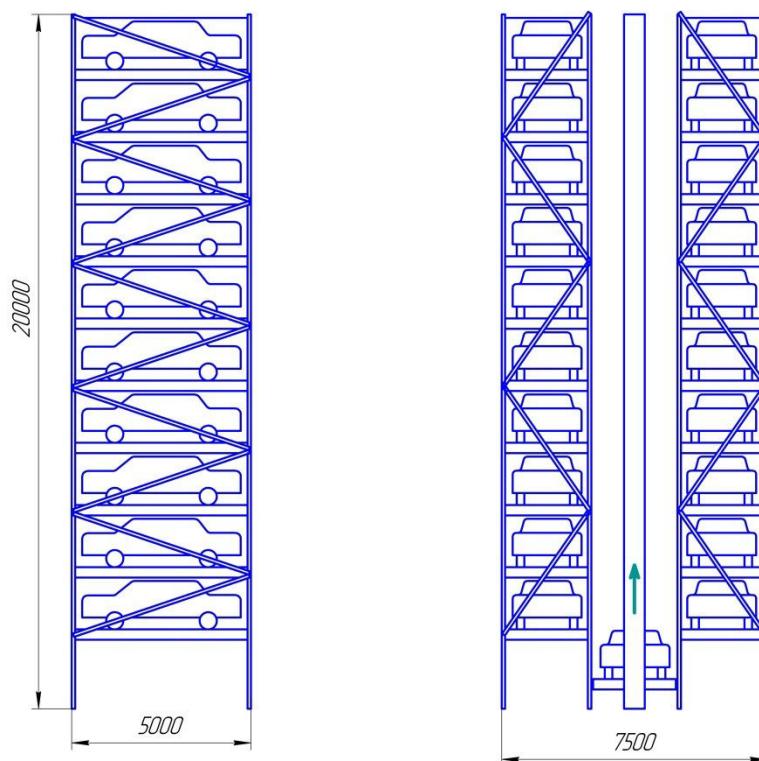


Рисунок 3. Компоновка автоматизированной автомобильной парковки стеллажного типа со штабелером

ЛИТЕРАТУРА:

1. Йорг Шрайбер. Продажи легковых и легких коммерческих автомобилей в России в сентябре 2019 г. //Ассоциация Европейского бизнеса. 2019 г.
2. СНиП 21-02-99 «Стоянки автомобилей», 2013 г.
3. Соколов С.А., Багдади Шауки. Устройство для горизонтального смещения поддона// Патент России № 2028442. 1995. Бюл. №4.

УДК 623.437.3.093; 629.03; 629.36

Д.В. Увакина, А.В. Лозин, Р.Ю. Добрецов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГУСЕНИЧНОЙ ЦЕПИ С ШАРНИРОМ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ТИПА

Введение. Благодаря ряду эксплуатационных преимуществ, гусеницы с резинометаллическим шарниром (РМШ) параллельного типа и цевочным зацеплением с ведущим колесом находят широкое применение на транспортных гусеничных машинах. Такое техническое решение используется в ходовой части основных танков и БМП.

Гусеницы с РМШ параллельного типа несвободны от недостатков, одним из самых главных является необходимость повышения жесткости на кручение. Актуальными остаются вопросы снижения массы, увеличения стойкости к минному подрыву, минимизации энергозатрат на качение опорного катка по беговой дорожке, обеспечение наилучших тягово-цепных свойств, увеличение ресурса РМШ и т.д.

Как правило, преодоление этих недостатков только за счет подбора материалов и коррекции технологических процессов невозможно. Требуется внесение изменений в конструкцию трака.

При проектировании модернизированной гусеницы, рассматриваемой в данной работе, были использованы как традиционные для отрасли расчетные методики, описанные, например, в книге [1], так и современные разработки [2-5 и др.].

Цель работы – повышение эксплуатационных качеств гусеничного движителя за счет внесения конструктивных изменений.

Методы исследования. Объектом исследования являлись гусеничные шасси транспортных и тяговых машин.

При выполнении работы применялись методы теоретической механики, механики грунтов, теории гусеничных машин, математического анализа.

Результаты. В качестве прототипов использованы гусеницы серийных машин Т-80 и Т-64 (рисунок 1), а также экспериментального шасси об. 187 [6], разработанного в УКБТМ в 1986-88 гг. (рисунок 2).

При этом от гусеницы об.187 заимствована концепция размещения гребня на цельном траке (траки Т-80 и Т-64 состоят из двух звеньев, связанных пальцами, при этом гребень располагается на средней связи, что повышает нагруженность пальцев). Испытание на минный подрыв показали, что зона размещения гребня на траке является ослабленной. Основные расчеты проводятся для шасси-аналога об. 187. Заимствуется конструкция колец РМШ. Траки выполняются коробчатыми. Беговая дорожка – металлическая.

От гусениц Т-80 и Т-64 принимается принцип зацепления: расположение цевки на скобе, подпор траков (у гусеницы об. 187 цевки выполнены на траке).

От гусениц Т-64 взят принцип «шахматного» расположения грунтозацепов и размещение их, в том числе, на средних связях.

В конструкции модернизированного трака реализован комплекс мер по стабилизации звена при прохождении опорного катка («шахматное» перекрытие зазора между траками, разнесение грунтозацепов) [4, 5, 7].

На скобах и средних связях предполагается использование полых стяжных болтов. Болты скоб и средних связей не унифицированы. Конструкция болта скобы приближена к реализованной в гусеницах БМП-2 и БМП-3, болты средних связей – потайные со шлицом TORX. Канал в теле болта – цилиндрический, может быть использован для установки шипов противоскользения и очистки шлица от грунта (комплекс технических решений «полого болта» предложен Бывальцевым В.И., Малафеевым В.А. и Шпилевым Н.Ф. [8]).

Асфальтоходность гусеницы обеспечивается установкой башмаков по аналогии с известным решением для траков об. 187. Предусматривается трехточечное крепление асфальтоходного башмака, армированного стальной профилированной пластиной.

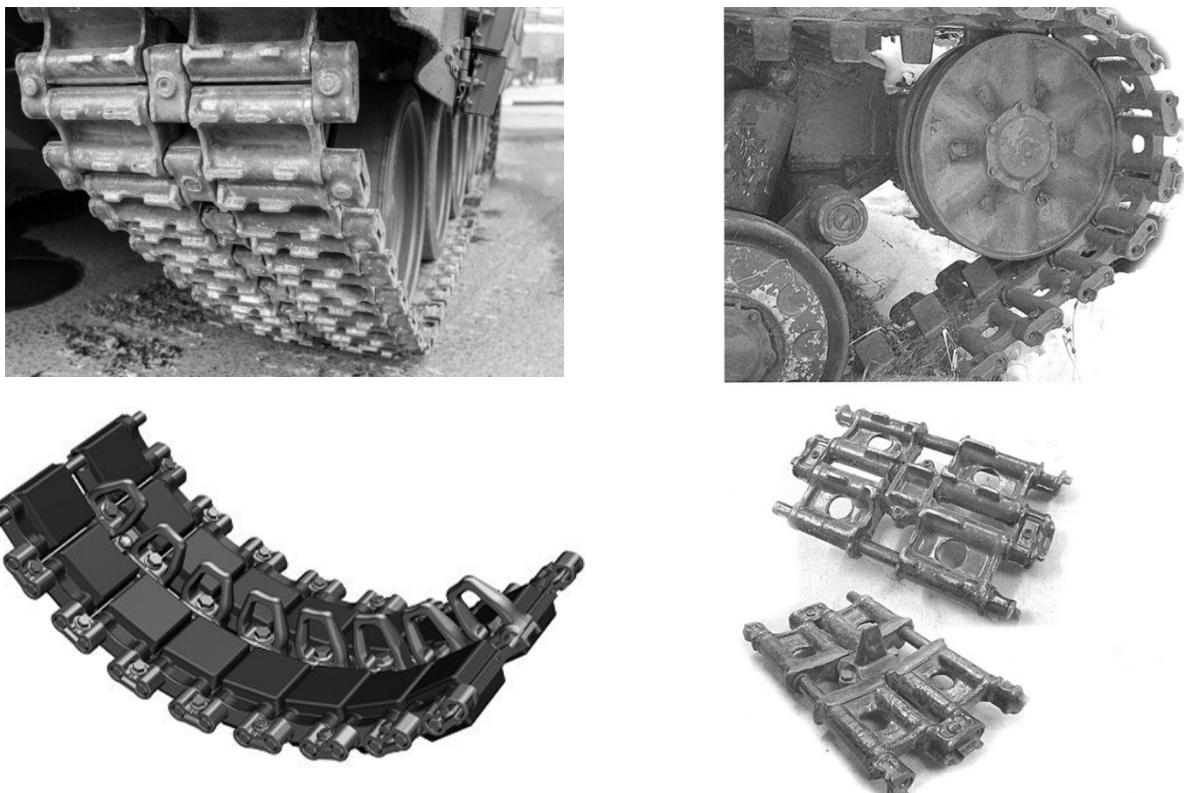


Рисунок 1. Гусеницы основных танков Т-80 (слева) и Т-64 (справа)

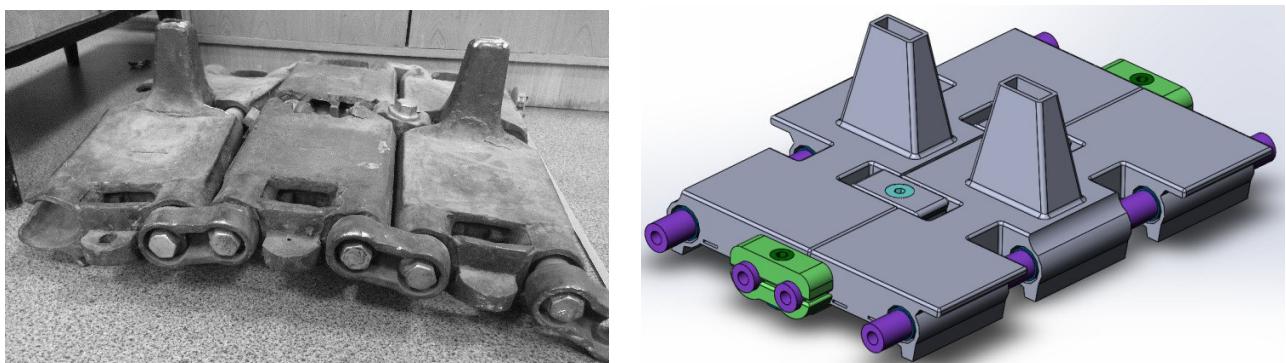


Рисунок 2. Звенья гусеницы об. 187 после испытаний на минный подрыв (слева) и рабочий вариант модели смежных траков новой гусеницы (справа)

В предлагаемой конструкции (см. рисунок 2) используются две средние связи между траками. Прямых аналогов в области конструкции ходовой части транспортных машин такому решению не найдено.

Предложенное решение дает гусенице ряд преимуществ и требует минимизации вызываемых его реализацией недостатков.

К преимуществам конструкции можно отнести ожидаемые:

- большую продольную жесткость гусеницы в связи с уменьшением деформации пальцев;
- увеличение противоминной стойкости;
- улучшение условий компоновки гребня, меньшее ослабление поперечного сечения гусеницы в области расположения гребня;
- повышение устойчивости траков и, как следствие, ожидаемое снижение энергозатрат на передвижение машины [4, 9].

Ожидаемые недостатки:

- увеличение массы гусеницы в переделах 3-5% (подлежит компенсации при проработке конструкции звена);
- усложнение технологического процесса запрессовки шарнира (запрессовка выполняется обычно в заводских условиях);
- усложнение конструкции гусеницы.

Внешняя простота предлагаемых технических решений требует создания новых расчетных моделей, позволяющих учитывать существование двух средних связей между траками; проработки модели передачи нагрузки с трака на трак при прохождении опорногокатка с внешней амортизацией по металлической беговой дорожке гусеницы; оптимизация силового каркаса полого трака.

Выходы.

1. Гусеница повышенной жесткости будет обладать лучшей устойчивостью в обводе (под катками и в зацеплении).
2. Гусеница предложенной конструкции может заменить серийно выпускаемый аналог.
3. Имеются основания ожидать, что при использовании гусеницы предложенной конструкции энергозатраты при прямолинейном движении машины снизятся на 8-10% по сравнению со случаем использования серийных гусениц танка Т-80.
4. Дальнейший интерес представляют уточнение расчетных методик и оптимизация конструкции РМШ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Волков Ю.П. Ходовая часть транспортных гусеничных машин: Учеб. пособие. Ч.1. Гусеничный двигатель. – СПб,СПбГПУ, 1995 – 114 с.
2. Мазур А.И., Крюков В.В., Фадеев И.Ф. Механизм взаимодействия гусениц с грунтом. // Вестник бронетанковой техники. –1983г.–№3.
3. Малафеев В.А. Унификация гусениц образцов БТТ. Вестник транспортного машиностроения. Сборник 3. – М.: 1996 г.
4. Особенности работы гусеничного движителя в области малых удельных сил тяги / Р.Ю. Добрецов // Тракторы и сельскохозяйственные машины – 2009. – №6 – С. 25-31.
5. Пат. 2385815 Российская Федерация, МПК B62D 55/20. Гусеничная цепь ходовой части транспортного средства. / Р.Ю. Добрецов, А.Г. Семёнов; заявл. 18.03.2009; опубл. 10.04.2010. Бюл. №10. – 8 с.
6. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82_187
7. Дорогин С.В., Акулов С.В., Степанов В.Н. О сдвиге гусениц при прямолинейном движении танка. – Вестник бронетанковой техники. – 1959 г. – N2.

8. А. с. 1009872 СССР. Соединительное звено для гусеницы / В.И. Бывальцев, Н.Ф. Шпилев, В.А. Малафеев // Бюл. – 1983. – № 13.

9. Performance improvement of Arctic tracked vehicles. Roman Dobretsov, Gennadii Porshnev and Darya Uvakina. MATEC Web Conf. Volume 245, 2018. International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2018). DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824517001>

УДК 624.07:539.4

И.А. Васильев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЛАСТИ ПРИ ВЕРШИНЕ ТРЕЩИНЫ

Хозяйственная деятельность в северных регионах России предполагает использование различного транспортного, строительного, технологического оборудования, многое из которого эксплуатируется в условиях низких климатических температур и интенсивных нагрузок. Часть этого оборудования относится к разряду опасных производственных объектов. Характерной чертой такого оборудования является наличие несущей металлоконструкции сложной конфигурации, с большим числом сварных соединений и тонкостенных элементов, подобные конструкции принято относить к числу ординарных [1, 2]. Низкие температуры, большое число концентраторов напряжений ухудшают условия для развития пластической деформации в элементах конструкции, в связи, с чем растет вероятность хрупкого или квазихрупкого разрушения. Такой вид разрушения может приводить к потере несущей способности конструкции, и может возникнуть в любой период эксплуатации.

Потери несущей способности различных конструкций, связанные с хрупким разрушением, неоднократно возникали при эксплуатации техники в разных регионах России и мира [3, 4]. До настоящего времени не существует достаточно удобной инженерной методики прогнозирования данного явления, учитывающей сложную конфигурацию конструкций, свойства материала, влияние остаточных сварочных напряжений, особенности эксплуатационного нагружения и низких температур. Поэтому опасность таких инцидентов сохраняется.

В настоящее время условия распространения хрупких трещин в упругих телах, а также трещин с маломасштабной пластической зоной базируются на аналитических решениях напряженно-деформированного поля и подтверждены экспериментально [3, 5]. В тех случаях, когда разрушение сопровождается существенными пластическими деформациями для расчетов в рамках механики разрушения применяются понятия нелинейной механики разрушения: J -интеграл и критическое раскрытие трещины *crack-tip opening displacement* (CTOD) [6, 7] и двух- и более параметрические подходы [8]. Применение этих подходов для анализа прочности конструкций с трещинами и трещиноподобными дефектами осложняется отсутствием базы данных критических значений J -интеграла и CTOD для типовых малоуглеродистых сталей, применяемых в конструкциях, и зон термического влияния сварных швов. Определение J -интеграла или раскрытия в вершине трещины, расположенной в зоне концентрации напряжений, характерной для ординарной конструкции, требует глубокого исследования, выходящего за рамки проектировочного процесса.

Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) в окрестности трещины является актуальной задачей, поскольку позволяет разработать наиболее удобный, с точки зрения инженерной практики, локальный критерий прочности конструкции с

трещиной. Современные возможности численного анализа, при параллельном проведении экспериментов открывают возможности исследования пластических зон вблизи дефектов.

Данная работа посвящена решению задач анализа упруго-пластического НДС пластины с краевой трещиной, нагруженной продольным растягивающим усилием.

На текущем этапе исследования была проанализирована серия образцов, представляющих собой прямоугольную стальную пластину размерами $2l \times b \times t$, с краевыми трещинами длиной a (см. рисунок 1), где $l=500$ мм, $b=800$ мм. В таблице 1 представлены обозначения образцов соответствующие комбинациям параметров a и t .

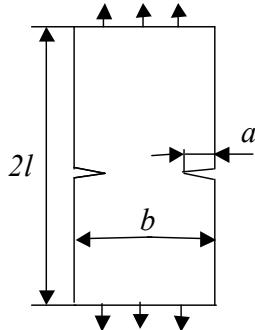


Рисунок 1. Вид образца

Характерный размер элемента в малой области при вершине трещины равен 0,167 мм, при удалении от трещины размер элементов увеличивается.

Таблица 1. Значения параметров a и t .

Длина трещины a , мм	Толщина образца t , мм		
	10	20	40
10	11	21	31
20	12	22	32
40	13	23	33

Физическая нелинейность деформирования стали описывается билинейной зависимостью, с модулем пластического упрочнения $G_p=1200$ МПа.

Для анализа использовались вычисленные значения параметров НДС в ограниченной зоне при вершине трещины размерами $0,3 \times 0,5$. Для дальнейшей оценки будут использоваться средние, в рассматриваемой зоне, значения коэффициента жесткости НДС $\eta_1 = \sigma_1 / \sigma_{vm}$ [3], и параметра $s_1 = \sigma_1 / \sigma_t$ в зависимости от комплексного параметра k_1 ,

который для краевой трещины вычисляется как $k_1 = \frac{1,12 \cdot \sigma_{br} \cdot \sqrt{\pi \cdot a}}{\sigma_t \cdot \sqrt{\pi \cdot r_0}}$, где σ_{br} – брутто

напряжения в образце; a – длина трещины; r_0 – характерный размер рассматриваемой зоны $r_0=0,5$. Графики зависимости $s_1(k_1)$ и $\eta(k_1)$ приведены на рисунках 2, а и 2, б соответственно.

В данной работе принято следующее разделение процесса нагружения: первый этап нагружения – этап, при котором рост параметра s_1 имеет линейный характер; второй и третий этапы характеризуются образованием и развитием зоны пластичности при вершине трещины, и нелинейным характером деформирования. Граница между вторым и третьим этапом нагружения характеризуется значением k_1 , которое соответствует максимальному значению коэффициента жесткости напряженно-деформированного состояния ЖНДС, отмечены точками на рисунке 2, б.

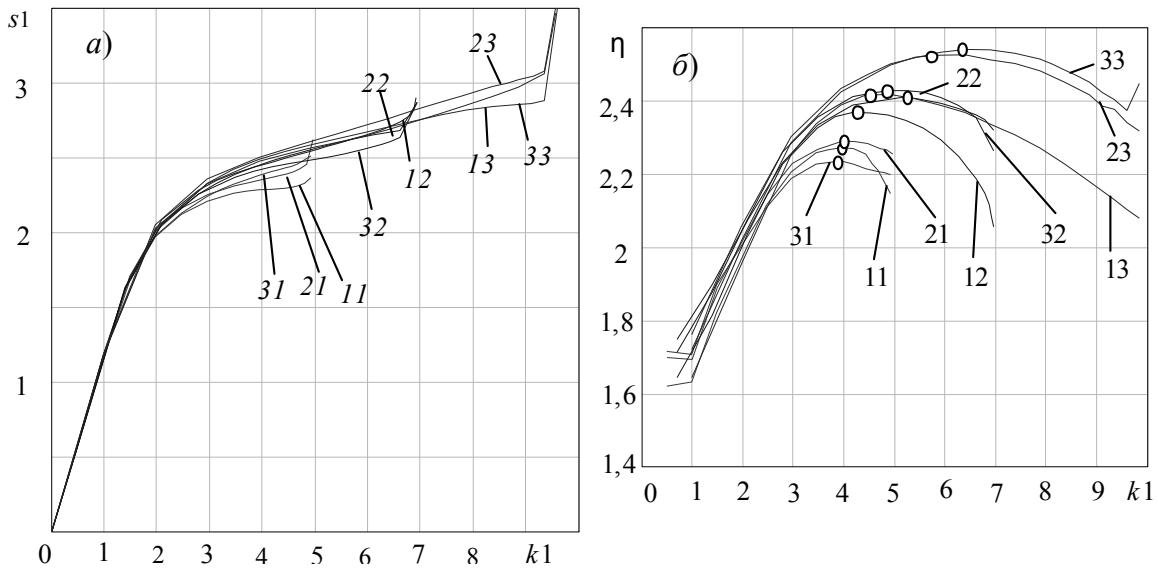


Рисунок 2. а) График зависимости параметра s_1 от параметра k_1 ;
б) График зависимости ЖНДС от параметра k_1 .

Графики зависимости параметра s_1 показывают практически полное согласование на упругом этапе нагружения. На втором этапе графики показывают заметное расхождение, для оценки которого сравниваются значения параметра s_{1m} соответствующие границе второго и третьего этапов, которые представлены на рисунке 3. На рисунке значения s_{1m} представляют собой три группы, и значения в одной группе соответствуют одному размеру трещины и разной толщине. Разброс значений параметра S_{1m} от толщины составляет $\Delta s_t \approx 0,117$, а от размера трещины $\Delta s_a \approx 0,365$.

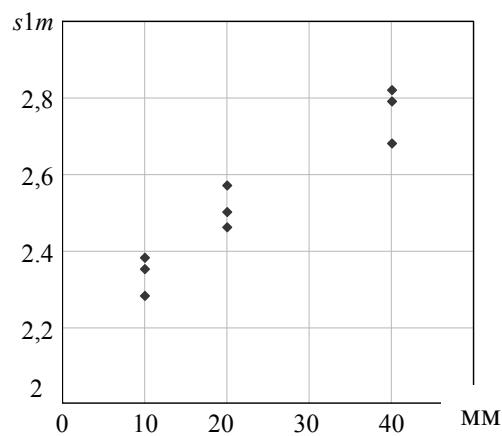


Рисунок 3. Значения параметра $s_{1m}(a)$

Очевидно, что на втором этапе, большее влияние на НДС оказывает размер трещины. Так, разброс параметра s_{1m} от размера трещины почти втрое превышает разброс от толщины. На основании полученных данных можно сделать предположение о том, что большее влияние на НДС при вершине краевой трещины оказывает её длина, толщина же влияет заметно меньше.

Как говорилось выше для первого, линейно-упругого, этапа используются критерии линейной механики разрушения, а для второго и третьего этапов ожидаются различные локальные критерии прочности. Обнаруженное влияние размера трещины и толщины

образца на НДС при нелинейном деформировании будет весьма полезным при формировании локального критерия прочности в дальнейших исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. S.Sokolov, A.Grachev. Local criterion for strength of elements of steelwork. eISSN 2532-5655 Special Issue on "Mechanical Engineering Research and Education" Vol. 12 N.5 May 2018 p. 448-453
2. Соколов С.А., Грачев А.А., Васильев И.А. Анализ прочности элемента конструкции с трещиной в условиях отрицательных климатических температур //Вестник машиностроения. –М., -2019. С. 42 – 46.
3. Броек Д. Основы механики разрушения. – М. Высшая школа. 1980 – 368 с.
4. Копельман Л.А. Основы теории прочности сварных конструкций. – СПб.: «Лань». 2010 – 464 с.
5. Н.А. Махутов Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность –М.: Машиностроение, 1981
6. H. Dai, J. Francis, H. Stone, H. Stone, H. Bhadeshia, P. Withers. Metall. Mater. Trans., 39A, 3070-3078 (2008)
7. X. Zhu, J. Joyce, Eng. Fract. Mech., 85, 1-46, (2012).
8. Матвиенко Ю.Г. Тенденции нелинейной механики разрушения в проблемах машиностроения. – М.– Ижевск. 2015 – 56 с.

УДК 629.3.018.2

А.И. Васильев, Р.Ю. Добрецов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

КОМПЛЕКС ДЛЯ ИНТЕРАКТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ МАШИН НА ОСНОВЕ ПАКЕТА MATLAB/SIMULINK

Введение. С развитием вычислительных мощностей компьютеров появляется потенциал реализовать более сложные математические модели, при этом есть возможность влиять на исходные данные, начальные условия в реальном времени, что позволяет использовать различного рода пакеты, программы для проведения испытаний в рамках имитационных математических моделей. Современные возможности компьютерных мощностей позволяют методы натурно-математического моделирования (НММ) свести максимально к математическому моделированию, обеспечивая только условия эргономики исследуемого транспортного средства. Тем самым сохраняется относительное функционирование системы «человек-машина-среда». Благодаря игровым контроллерам, симуляторам, возможно обеспечить эффект присутствия экипажа в исследуемом объекте, а математические модели должны воспроизводить динамические процессы в составных частях исследуемого транспортного средства.

Наибольших успехов в разработке симуляторов, связанных с математической моделью, добились в авиационной отрасли [1, 2]. Так используя современные пакеты и контроллеры можно значительно снизить денежные расходы на ранних стадиях НИР.

Применение методов натурно-математического моделирования не исключает полностью необходимости в последующих натурных испытаниях опытных и экспериментальных образцов вновь создаваемых транспортных средств, в том числе военных гусеничных машин, но значительно сокращает объем таких испытаний [3].

Сам комплекс на базе игровых контроллеров может состоять из рулевого колеса, рычага имитирующего рычаг коробки передач, педального узла [3] (рисунок 1). Возможна установка кресла водителя с обратной связью, однако данная функция требует более значительных денежных затрат. В настройках контроллера, возможно задать максимальный угол вращения рулевого колеса. Современные электронные устройства, а также электронные

конструкторы-аппаратные платформы по типу Arduino, позволяет изменять или переоборудовать предложенный вариант комплекса.



Рисунок 1. Игровой контроллер LogitechG27(фото Васильева А.И.)

Так, например, переделан стандартный рычаг игрового контроллера. Сверху устанавливается насадка, имеющая отдельные переключатели (рисунок 2). Так как переключатели запрограммированы на Arduino и не связаны со стандартным игровым устройством, для их функционирования необходимо подключение их к компьютеру через USB-вход, как отдельного устройства.

Все это позволило рычаг коробки перевести в режим 16 передач вперед и 4 назад. Такое устройство позволяет имитировать максимально близко работу водителя грузовика (или промышленного трактора) при переключении передач.



Рисунок2. Рычаг коробки передач LogitechG27, имитирующий рычаг коробки передач грузового автомобиляMANTGS/TGX (фото Васильева А.И.)

Таким образом, в данном комплексе рабочее место водителя состоит из рулевого колеса, рычага КП, педального узла, кресла (что ведет к увеличению цены комплекса). В качестве имитатора движения и колебаний машины может быть использовано игровое кресло. Оно по обратной связи будет обеспечивать дорожные вибрации, имитацию угловых

колебаний РПВ по тангажу, крену, дифференту. Все параметры, воздействующие на кресло и рулевое устройство, рассчитываются с помощью математической модели (рисунок 3).

Система имитации визуальной обстановки (СИВО) в данной комплексе обеспечивает экран монитора. Движение модели происходит уже внутри виртуальной среды, поэтому синхронно с визуальной обстановкой в математическую модель шасси поступает информация о дорожных условиях.

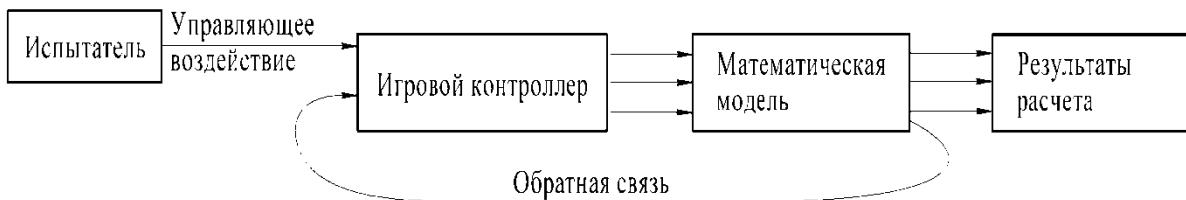


Рисунок 3. Принцип работы комплекса

Авторами предлагается использовать игровые контроллеры в связке с пакетом Matlab/Simulink. Для подключения контроллера используется блок “Joystick Input”. Для работы модели в реальном времени требуется блок Real-Time Synchronization (рисунок 4).

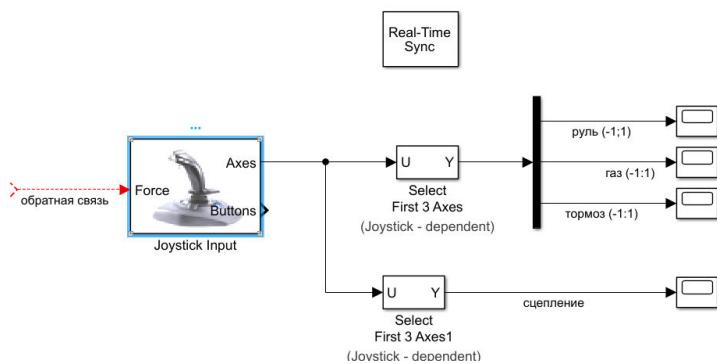


Рисунок 4. Модель для подключения игровых контроллеров в Matlab/Simulink

Выводы. В значительной мере в разработке симуляторов преуспели в авиационной отрасли, существует игровые симуляторы такие как Xplane, FlightGear и др., при этом они могут работать в связке с пакетом Simulink [1, 2, 4]. Такое же использование симуляторов может быть привлечено и в других технических сферах, где эксплуатация устройства в большой степени зависит от действия оператора, в частности, – в сфере колесной и гусеничной техники. Попытки создания такого симулятора только на базе Simulink производилось в работе [5].

К преимуществу данного комплекса можно отнести такие моменты, как дешевизна по сравнению с аналоговыми устройствами, комплекс обладает небольшой задержкой сигнала, однако в случае использования сложной динамической модели, может потребовать более высокие вычислительные мощности, что, в свою очередь, уже является некоторым недостатком. Также к плюсам такого комплекса можно отнести такие очевидные функции, как: интерактивность, отсутствие необходимости в натурных моторно-трансмиссионных установках, шасси и т.д. при этом все данные о сборочных единицах изделия должна содержать математическая модель, что позволяет использовать комплекс на самых ранних стадиях НИР на первых этапах жизни изделия. Появляются возможность быстрого изменения характеристик исследуемой машины, так как все параметры заложены в математической модели (рисунок 3), и возможность быстрого изменения условий испытаний

(изменение 3D моделей, текстур, математической модели, исходных данных). Не в полной мере, но в достаточной, реализуется система “экипаж (водитель)-машина”.

К минусам такой системы можно отнести такие моменты как: результаты моделирования полностью ограничены заданной математической динамической моделью, низкая, либо не максимально точная передача ощущений (зависит от правильности задания обратной связи).

ЛИТЕРАТУРА:

1. X-plane and Simulink [Электронный ресурс] URL: <https://www.youtube.com/watch?v=96lGLUxgOg0> (Дата обращения: 10.10.2019)
2. Методика синтеза метеозависимой имитационной модели полёта беспилотного летательного аппарата по данным расчета в ANSYS CFX / А.М. Агеев и [др.] // Вестник ВГУ, серия: Системный анализ и информационные технологии. – № 2 – 2016. – С. 5-12.
3. Военные гусеничные машины: Учебник / В 4-х т. Т.2. Основы научной организации разработки. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1992. – 300 с.
4. Андрющенко Т.А., Кусаинов А.А. Разработка динамической модели беспилотного летательного аппарата // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. – 2013. – Т. 11, Вып. 2. – С. 5-17.
5. Building a MATLAB/Simulink-based truck simulator T.A.H. Lousberg – 0930774, 2016. – С. 65.

УДК 620.1.05.

Т.А. Паутова, А.В. Стукач

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРЕНИЯ

Основной причиной выхода из строя машин является износ подвижных сопряжений и рабочих органов под влиянием сил трения [1]. Тем не менее, при проектировании машины часто не уделяется должного внимания оценке материалов на их износостойкость.

Частые выходы машины из строя влекут за собой дополнительные расходы на их обслуживание и ремонт, снижение производительности предприятия, где работает данная машина. Поэтому важно обеспечивать высокую надежность машин, что достигается, в первую очередь, высоким качеством материалов с требуемым уровнем механических свойств.

Прежде чем говорить об уровне механических свойств того или иного материала, необходимо его определить, для чего используют структурные и физические методы исследования. Наиболее достоверную информацию при оценке свойств взаимодействующих материалов пар трения дают экспериментальные методы, реализуемые специализированными лабораторными установками. Пар трения существует большое количество, но для многих из них нет разработанных лабораторных установок, а следовательно, в их проектировании есть необходимость, обусловленная большой значимостью применения для развития науки и техники [2].

Известна установка для измерения коэффициента трения [3]. Установка позволяет измерять коэффициент трения для различных комбинаций материалов. Имеется возможность проводить испытания при различных нормальных силах и скоростях движения.

Существует также установка для измерения трения в подшипниках скольжения [4], которая позволяет проводить как исследовательские, так и ресурсные испытания.

Разработана установка для изучения трения и изнашивания с имитацией факторов открытого космоса [5]. В приведенной статье рассмотрены условия работы

подвижных сопряжений и узлов трения в открытом космическом пространстве. Однако для деталей общего машиностроения нет необходимости в подобных условиях испытаний.

Известна машина трения для ускоренных испытаний фрикционных тел качения на момент трения и износ [6].

Кроме того, приводится конструкция машины трения, предназначеннной для испытания материалов по схеме «палец-диск» в режиме граничной смазки. Машина предназначена для испытания материалов и покрытий на износ, в частности, при режимах, соответствующих работе запорной арматуры нефтепроводов [7].

Все приведенные выше установки имеют либо большие габаритные размеры, либо не подходят для исследования свойств трения материалов деталей, использующихся в общем машиностроении. В то же время этот вопрос очень важен и неоднократно поднимался в других работах. Так, например, в одной из работ [8] была исследована взаимосвязь трибологических и тепловых характеристик для наполненного полиамида. В другой работе [9] приводятся результаты исследования капролона, модифицированного углеродными наноматериалами.

Есть также работа, посвященная изучению влияния на прочность антифрикционных покрытий остаточных термических напряжений [10].

Особое место занимает огромный труд, проведенный в данном направлении, посвященный многокомпонентным антифрикционным материалам на основе термопластов.

Судя по данным работам, можно сказать, что вопросы исследования свойств трения и проектирования соответствующих лабораторных установок занимают важное место в современном мире. Поэтому встал вопрос о проектировании новой машины трения.

В предлагаемой статье предложен вариант установки для исследования пары трения «диск-палец», принципиальная схема которой показана на рисунке 1.

Привод установки состоит из электродвигателя 1 постоянного тока, одноступенчатого червячного редуктора 2, конической передачи 3, клиновременной передачи 4, винтовой передачи (состоящей из ходового винта 5 и гайки 6), удерживающего устройства 7, пальца 8 и диска 9.

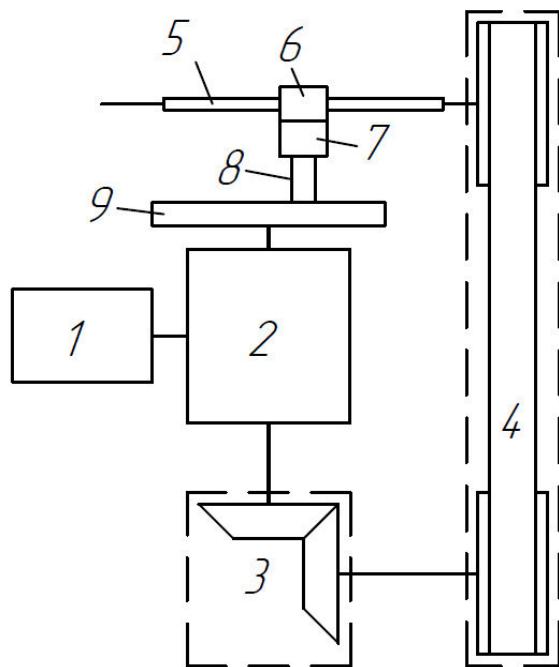


Рисунок 1. Принципиальная схема установки

Привод установки состоит из электродвигателя 1 постоянного тока, одноступенчатого червячного редуктора 2, конической передачи 3, клиноременной передачи 4, винтовой передачи (состоящей из ходового винта 5 и гайки 6), удерживающего устройства 7, пальца 8 и диска 9.

Экспериментальная установка работает следующим образом. При включении электродвигателя приводится во вращение тарель, с установленным на ней абразивным кругом, а также ведущее коническое колесо зубчатой передачи. Оно в свою очередь передает крутящий момент на ведомое колесо и ведущий шкив клиноременной передачи. С ведомого шкива клиноременной передачи вращение передается на ходовой винт, в результате чего гайка совершает поступательное движение. К гайке присоединен сменный быстрозажимной патрон, который имеет посадочное резьбовое отверстие размером 1/2", куда ввинчивается болт с соответствующей дюймовой резьбой. Для обеспечения вертикального перемещения патрона с пальцем с его одновременным нагружением используется пружина, сжимающаяся под действием силы тяжести специальных грузов.

Все передачи рассчитаны таким образом, что при совершении кругом одного полного оборота, палец производит перемещение от периферии к центру круга, образуя на нем траекторию в виде спирали.

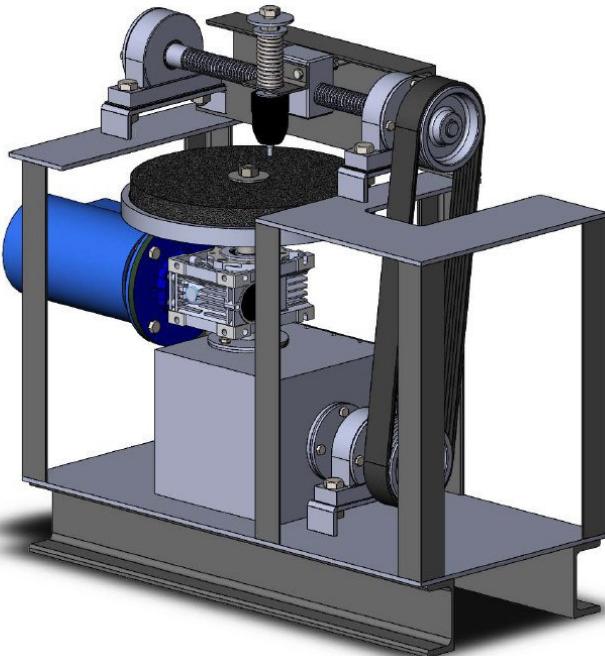


Рисунок 2.Модель установки

В результате проектирования установки были выполнены расчеты всех ее основных элементов, а также разработана конструкция установки, модель которой представлена на рисунке 2.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ. / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение. – 1977. – 526 с. с ил.
2. Тавтилов И.Ш. Лабораторные установки для испытаний материалов на трение и изнашивание: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Основы теории трения и изнашивания» / И.Ш. Тавтилов; Оренбургский гос. ун-т.– Оренбург: ОГУ, 2014.–16 с.
3. Русаков Д.А. Установка для измерения коэффициента трения // Достижения вузовской науки. – 2016. – № 20. – с. 150-155.
4. Васильев, В.О. Установка для измерения трения в подшипниках скольжения // Достижения вузовской науки. – 2016. – № 20. – с. 112-117.

5. Броновец М.А., Огуречников В.А., Соловьев Н.Г., Чижов Ю.Л., Якимов М.Ю. Экспериментальная установка для изучения трения и изнашивания с имитацией факторов открытого космоса // Трение и износ. – 2009. – № 6, т. 30 – с. 529-532.
6. Королев А.В., Королев А.А. Машина трения для ускоренных испытаний фрикционных тел качения на износ // Трение и износ. – 2017. – № 1, т. 38 – с. 49-54.
7. Селькин В.П., Копылов С.В. Машина трения для испытания материалов в режиме граничной смазки // Трение и износ. – 2016. – № 2, т. 37 – с. 234-237.
8. Стукач А.В., Кириленко О.Ф., Фадин Ю.А. Взаимосвязь трибологических и тепловых характеристик для наполненного полиамида // Трение и Износ. 2004 г. т.25. №5. с.539-541.
9. Стукач А.В., Соловьев А.А. Исследование коэффициента трения капролона модифицированного углеродными наноматериалами. (Статья ВАК). Научно-техническое издание НИИТТС, СПбГУСЭ «Технико-технологические проблемы сервиса». №1. 2008. – с. 46-47.
10. Стукач А.В. Влияние термических остаточных напряжений на прочность адгезии антифрикционных покрытий. Металлообработка, Изд-во «Политехник» 2008 №4, с. 22-24.

УДК 620.17.051

Н.В. Николаева, А.В. Стúкач

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МАЛОГАБАРИТНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ МАШИНА ТРЕНИЯ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Процессами трения на специальных установках занимаются на протяжении многих лет. Такие установки называются машинами трения. Машина трения – это устройство для воспроизведения трибологического процесса в контролируемых условиях, обеспечивающее контроль входных и выходных параметров.

Известны работы многих авторов, которые занимаются процессом трения различных материалов на машинах трения. Например, Буяновский И.А. развел теорию эквивалентности испытания узлов трения для большого количества образцов длительным испытаниям одного образца для машин трения возвратно-поступательного движения на основании теоремы Биркгофа-Хинчина для процессов, отвечающих критериям эргодичности и стационарности. Установлено, что большая часть исследуемых пар трения при показанных условиях испытаний отвечает указанным критериям [1].

Королев А.В. в своей работе предложил конструкцию машины трения для ускоренных испытаний фрикционных тел качения на момент трения и износ [2].

В работах Селькина В.П. и Копылова С.В. рассмотрена конструкция машины трения, предназначенной для испытания материалов по схеме палец-диск в режиме граничной смазки. Описаны использованные при разработке машины технические решения, направленные на обеспечение точности установки поверхности трения образцов относительно контртела и соблюдение постоянного температурного режима в зоне контакта независимо от продолжительности испытания. Машина предназначена для испытания материалов и покрытий на износ [3].

Разработкой и испытаниями на машинах трения также занимались Ланков А.А., Маринин В.Б., Беленъких Е.В., Браун Е.Д., Смушкович Б.Л., Козырев Ю.П. [4, 5].

В машинах трения можно использовать различные антифрикционные материалы. Поэтому материалам, их характеристикам, которые испытываются на машинах трения, также посвящено много исследований.

Стúкач А.В., Кириленко О.Ф., Фадин Ю.А. исследовали взаимосвязь трибологических и тепловых характеристик для наполненного полиамида [6, 7].

Фундаментальные исследования, посвященные многокомпонентным атифрикционным материалам на основе термопластов, описаны в работе Стúкача А.В. [8]. В его работах также велись исследования коэффициента трения капролона модифицированного углеродными наноматериалами [9].

На машинах трения можно производить исследования различных свойств материалов, при действии на них различных факторов. Например, в работе Стúкача А.В. было исследовано влияние термических остаточных напряжений на прочность адгезии антифрикционных покрытий [10].

Проанализировав многие литературные источники, можно сделать вывод, что исследования в области трения и износа несут большой вклад в развитие науки и технологий.

Актуальность темы исследования – повышение эффективности работы современных установок трения, а также уменьшения их габаритов.

Целью данной работы является конструирование малогабаритной лабораторной машины трения возвратно-поступательного действия.

Для ее достижения необходимо было решить следующие задачи: провести энерго-кинематический анализ, подобрать электродвигатель и редуктор, произвести расчет ременной передачи и графически смоделировать установку.

Образцы в данной работе – стержень $d=6$ мм и $h=68$ мм, пластина с размерами $168 \times 60 \times 4,5$ мм. Нагрузка на образцы 283Н. Скорость движения пластины 0,5 м/с.

Для выбора электродвигателя и редуктора было определено КПД установки по формуле

$$\eta_y = (\eta_{\text{подшип.}})^n \cdot (\eta_{\text{втулки}})^k \cdot \eta_{\text{ч.ред.}} \cdot \eta_{\text{рем.}},$$

где $\eta_{\text{подшип.}}$ – КПД пары подшипников; $\eta_{\text{втулки}}$ – КПД бронзовой втулки в шатуне; $\eta_{\text{ч.ред.}}$ – КПД червяка редуктора; $\eta_{\text{рем.}}$ – КПД плоскоременной передачи; n, k – число пар подшипников и втулок.

После расчета мощности двигателя был выбран электродвигатель постоянного тока типа 2ПН90МУХЛ4. Характеристики двигателя: мощность $N=0,37$ кВт; частота вращения $n_{\text{об.ном.}} = 1500$ об/мин; КПД 61,5%. Так же был подобран червячный одноступенчатый редуктор 2Ч-40. Технические характеристики редуктора: частота вращения входного вала $n_{\text{об}} = 1500$ об/мин; частота вращения выходного вала $n = 100$ об/мин; номинальный крутящий момент на выходном валу $M_{kp} = 36$ Нм; КПД 81%; передаточное число $i_y = 16$.

В установке, для уменьшения ее габаритов, используется ременная передача для соединения выходного вала электродвигателя с входным валом редуктора. После произведенных расчетов выбран ремень РНГ 240-L-075, зубчатый ремень, профиль L, количество зубьев – 64, длина (мм) – 609,6, ширина (мм) – 19,05, высота (мм) – 3,6.

Для измерения силы трения в установке используется резистивный датчик давления DF9-40.

Моделирование установки производилось с помощью средства автоматизированного проектирования SolidWorks.

Для обеспечения возвратно-поступательного движения на установку был установлен кривошипно-шатунный механизм. Схема установки заданной машины трения разделена на 2 части.

Первая часть представляет собой подвижную платформу на роликах, на которой закреплена ванна и неподвижный образец. Ванна используется для определения вязкого исухого трения. Образец закреплен на небольшие винты, что позволяет быстро снимать его и устанавливать новый. Ролики установлены в направляющих, представляющих собой балку

прямоугольного сечения. Подвижная часть установки располагается на П-образной раме, ее высота подобрана таким образом, чтобы обеспечивать горизонтальное положение шатуна при расположении пальца кривошипа под углом $\alpha=90^0$ от вертикали.

Вторая часть установки представляет собой неподвижную П-образную раму (1), на которой располагается стакан (2) и цанговый патрон (3) с цангой (4) для закрепления в последнем цилиндрического образца (5). Данный образец под нагрузкой будет создавать трение на образце, расположенном в подвижной части установки. Цанговый патрон также будет служить нагружателем. Основные элементы неподвижной части установки представлены на рисунке 1.

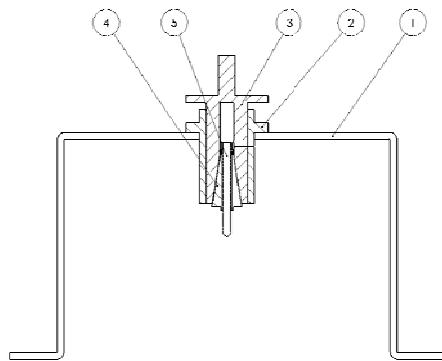


Рисунок 1. Основные элементы неподвижной части установки

На рисунке 2 представлен общий вид машины трения в изометрии.

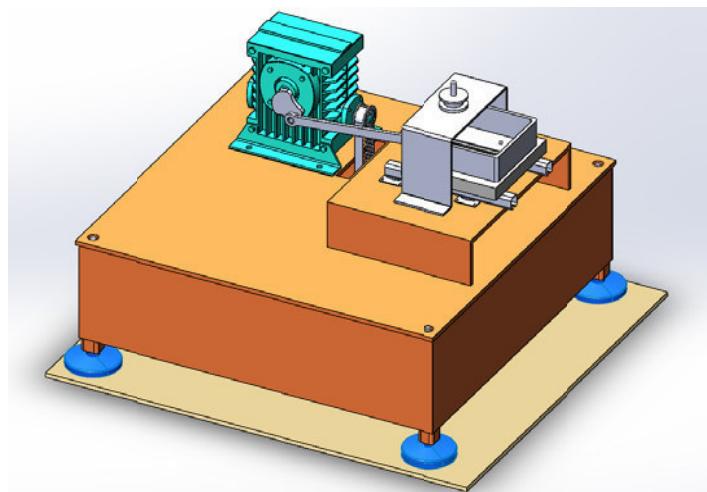


Рисунок 2. Общий вид установки

Выходы: Выполнение поставленных задач позволило сконструировать малогабаритную лабораторную машину трения возвратно-поступательного действия для исследования трения на образцах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Буяновский И.А., Правоторова Е.А., Большаков А.Н., Левченко В.А. Минимизация объема экспериментальных трибологических испытаний на машине трения возвратно-поступательного движения. Журнал: Трение и Износ. 2017 г. Т.38. №3. с.201-207.
2. Королев А.В., Королев А.А. Машина трения для ускоренных испытаний фрикционных тел качения на износ. Журнал: Трение и Износ. 2017 г. Т.38. №1. с. 49-54.

3. Селькин В.П., Копылов С.В. Машина трения для испытания материалов в режиме граничной смазки. Журнал: ТрениеиИзнос. 2016 г. Т.37. №2. с. 234-237.
4. Lankov A.A., Marinin V.B. To theory of four-ball friction machine. Журнал: ТрениеиИзнос. 1995 г. Т.16. №6. с. 1159-1167.
5. Belen'kikh E.V. Lubricating film vitrification at heavily loaded contact on a disk friction machine. Журнал: ТрениеиИзнос. 1996 г. Т.17. №1. с. 123-127.
6. Стúкач А.В., Кириленко О.Ф., Фадин Ю.А. Взаимосвязь трибологических и тепловых характеристик для наполненного полиамида. Журнал: ТрениеиИзнос. 2004 г. Т.25. №5. с.539-541.
7. Stukach A.V., Kireenko O.F., Fadin Y.A. Interrelation between tribological and thermal characteristics of filled polyamide. Журнал: Трение и Износ. 2004 г. Т.25. №5. с. 539-541.
8. Стúкач А.В. Многокомпонентные антифрикционные материалы на основе термопластов в транспортных и технологических системах (монография). Изд-во СПбГУСЭ, Спб.: 2007. – 279с.
9. Стúкач А.В., Соловьев А.А. Исследование коэффициента трения капролона модифицированного углеродными наноматериалами. (Статья ВАК). Научно-техническое издание НИИТТС, СПбГУСЭ «Технико-технологические проблемы сервиса». №1. 2008. – с. 46-47.
10. Стúкач А.В. Влияние термических остаточных напряжений на прочность адгезии антифрикционных покрытий. Металлообработка, Изд-во «Политехник» 2008 №4, с. 22-24.

УДК 621.785.53:620.178.16

Е.М. Неусмехова, С.А. Соколов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Значительная часть территории нашей страны имеет экстремальные климатические условия в связи с низкими зимними температурами. Более половины площади находится севернее изотермы января -20°C, продолжительность зимнего периода в северных районах превышает 200 суток, а в высоких широтах и 300 суток. Глубина сезонного промерзания грунта составляет 1,5–3 м, значительная часть территории покрыта вечномерзлыми грунтами. Приведенные в обобщенном виде климатические факторы обусловливают ряд специфичных технических требований к исполнению грузоподъемных машин.

Актуальность данной темы обусловлена тем, что более половины береговой линии Северного Ледовитого океана приходится на побережье России в ее арктической части со своими нетронутыми запасами нефти и газа, а также другими пригодными для добычи полезными ископаемыми, такими как золото, серебро, алмазы, медь, титан, графит, уран и прочими ценными редкоземельными элементами. В регионе ускоренными темпами строятся морские порты, объекты по добыче полезных ископаемых, нефте- и газопроводы, а также обслуживающие их автомобильные, железные дороги и аэрородромы. Число поломок оборудования зимой в условиях Крайнего Севера обычно втрое больше, чем летом. Сталь не выдерживает низких температур; она становится хрупкой.

Целью данной работы было выведение математической модели, описывающей зависимость предела текучести от понижения температуры окружающей среды. Для этого были решены следующие задачи:

- 1). Были проанализированы данные, приведенные в научных статьях;
- 2). Были построены графики зависимости пределов текучести от понижения температуры окружающей среды, а также таблицы данных по графикам зависимости, приведенным в статьях [1-3];
- 3). Была выведена математическая модель зависимости.

Предел текучести – ключевая характеристика, учитываемая при подборе материала для строительства машин, работающих в холодных условиях. Руководствуясь источниками [4, с.217], было принято решение ввести коэффициент, показывающий изменение пределов текучести при отрицательных температурах (коэффициент s_i). При этом

$$s_i = \frac{\sigma}{\sigma_0},$$

где σ – значение предела текучести при определенной температуре t , МПа; σ_0 – значение предела текучести при максимальной исследуемой температуре $t_0 = +20^\circ\text{C}$, МПа.

Ниже представлены графики, описывающие зависимости величины коэффициентов s_i от изменения температуры окружающей среды (рисунок 1).

Для нахождения величины коэффициентов s_i были построены графики зависимости пределов текучести от температуры окружающей среды, характеристики которого представлены в таблице 1. Так как авторами исходных статей было принято решение не выбирать определенные виды сталей, а обозначить их как Сталь L, указав некоторые отличительные характеристики, такие, как, например, ударная вязкость, стали были выбраны в ходе выполнения работы и также представлены в таблице 1.

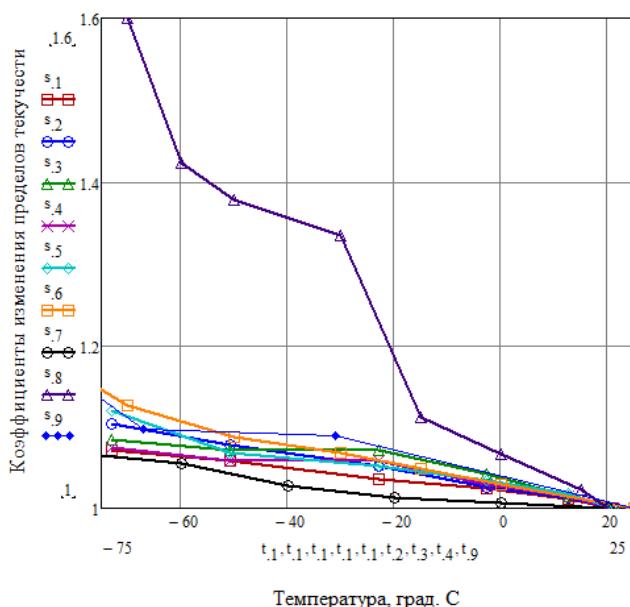


Рисунок 1. Зависимость величины коэффициентов s_i от изменения температур

Таблица 1. Характеристики металлов

Название	σ_t , МПа при $t = +20^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{пр.}}$, МПа	Примечания
Сталь L	850	862	Контактный слой
	780	862	Контактный слой
	710	862	
	680	862	Контактный слой
	590	862	Сварной шов
ABS-EH-36	518	700	Сварной шов
Сталь L	728	862	
Сталь 10 кп	225	335	
ABS-EH-36	525	630	Сварной шов

Ориентируясь на полученные зависимости, можно сделать вывод о том, что с понижением температуры окружающей среды сопротивление упругопластическим деформациям и разрушению увеличивается по экспоненциальному или степенному закону (рисунок 2), что не противоречит зависимостям, приведенным в источниках [4, с.218]

$$\sigma_t = \exp \left[340 \cdot \left(e^{\frac{-\sigma_{T_0}}{220}} + 0,1 \right) \cdot \left(\frac{1}{237+t} - \frac{1}{237+t_0} \right) \right].$$

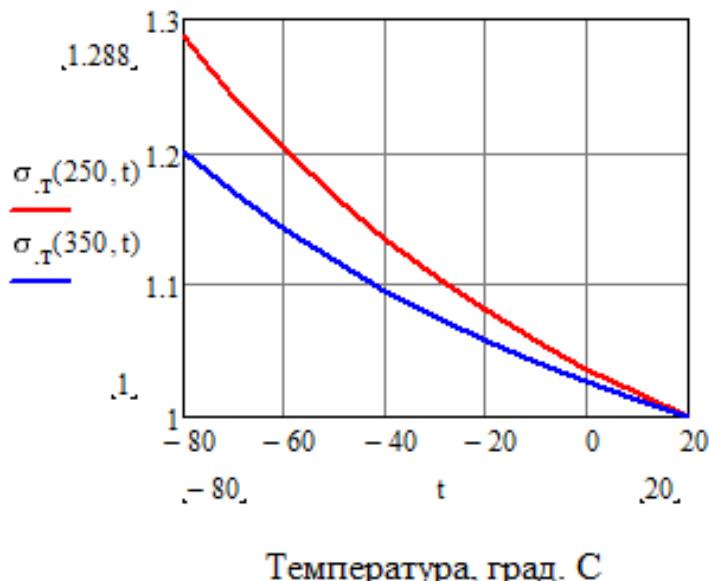


Рисунок 2. Экспоненциальная зависимость упругопластической деформации от понижения температуры окружающей среды

ЛИТЕРАТУРА:

- Сибилёв А.В., Мишин В.М. Установление критерия хладноломкости стальных образцов на основе критерия локального разрушения. — ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», 2013. — 5 с.
- K. Ikeda, H. Kihara. Brittle Fracture Strength of Welded Joints, 1969.—8 p.
- F. Zia-Ebrahimi. Ductile-to-Brittle transition in steel weldments for arctic structures. — Fracture and Deformation Division Center for Materials Science, 1985.—68 p.
- Махутов Н.А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность. — М.: Машиностроение, 1981. — 272 с.

УДК 179.7; 629.3.052.9

Я.Г. Пуказов, И.А. Коршакова, А.С. Меркулов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

БЕСПИЛОТНЫЙ АВТОМОБИЛЬ, ПРИНИМАЮЩИЙ СЛУЧАЙНОЕ РЕШЕНИЕ В СЛОЖНОЙ МОРАЛЬНОЙ СИТУАЦИИ

Введение. Роботы, машины, а также алгоритмы искусственного интеллекта заметно большими темпами принимают участие в деятельности человека. Согласно статистическому сборнику ВШЭ - 20% работников, занятых нерутинными задачами, будут полагаться на помошь искусственного интеллекта к 2022 г. [1]. Примером такой синергии могут стать машины с автопилотом на общественных дорогах [2], беспилотные дроны для доставки еды [3] или автономные подводные лодки [4].

Возрастающая автономность [1], которая предоставляется подобным машинам, может отражаться в ситуациях, когда им приходится принимать самостоятельные решения, касающиеся жизни и здоровья человека. Чтобы создать гуманного робота, возникает необходимость изучения, как люди принимают решения в условиях сложного морального выбора, а также, как люди воспринимают искусственный интеллект, который принимает самостоятельные решения.

Проблема. По словам одного из разработчиков беспилотного такси Яндекса, объемы вычислений настолько велики, что автопилот готов «поглотить» любую вычислительную мощность [5]. Разработчикам автопилотов постоянно не хватает ресурсов процессоров. Раньше решение этой проблемы было очевидно и состояло всего из двух слов - «закон Мура»: каждые два года количество транзисторов в процессорах возрастает вдвое [6].

Целых полвека компьютерные технологии подчинялись данному закону, но в наше время он перестал работать. Мур предсказал это еще в 2007 году, ссылаясь на фундаментальные физические ограничения - атомарную природу вещества и ограничения скорости света [7]. Сегодня для увеличения производительности компьютеров все больше вычислений перекладывается с центральных процессоров на графические [8]. Но это не решает проблему до конца. По словам основателя компании Nvidia, Дженсену Хуангу, основная проблема создать полноценный беспилотный автомобиль – это попытки инженеров сделать «идеальный» автопилот, способный реагировать на все ситуации [5]. Однако если этих ситуаций бесконечное множество, то и решений бесконечное множество. Не проще ли уменьшить данное множество до минимально необходимого предела, благодаря правилам и законам, которые смогут сократить объем вычислительной мощности и не будут вызывать моральных вопросов со стороны общества?

Актуальность. На сегодняшний день существует ряд законов робототехники [9], которые частично решают данную проблему. Но ни один из законов не решает проблему, так называемого, вопроса о машинной этике [10]. Например, что делать в ситуации, при любом решении которой неизбежно приходиться жертвовать человеческой жизнью? Данным вопросом задавался Филипп Фут в своем мысленном эксперименте под названием «Проблема вагонетки».

Недавние научные исследования о машинной этике повысили внимание СМИ и общественности к данной теме. Ярким примером подобного исследования является проект Moral Machine Массачусетского технологического института. Это исследование показало, как люди в разных частях мира готовы воспринимать решения искусственного интеллекта и кем предпочтительней жертвовать, когда потери неизбежны. К сожалению, предлагаемые вопросы рассматриваются от третьего лица в двух проекциях: 1 - жертвуем пассажиром; 2 - жертвуем пешеходом. Данная постановка задачи приводит к не совсем корректным данным. Это подтверждается в результатах исследования RobotRight Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Цель работы - привлечение внимания общества для получения статистики, которая может помочь в разработке решения вышеописанной проблемы и тем самым внести вклад в развитие искусственного интеллекта.

Метод исследования. RobotRight - это социологическое исследование, которое создано для сбора общественного мнения с помощью анкетирования через интернет-ресурс на базе веб-приложения Яндекс.Взгляд. Данное социологическое исследование состоит из вводной части и трех вопросов со множественным выбором. Социально-демографические данные респондентов (рисунок 1) получены через сервис Яндекс.Метрика. Анкетирование проходило среди студентов и работников СПбПУ Петра Великого. Основная часть респондентов: 76,6% - лица от 18 до 24 лет. Всего ответило на вопросы 422 человека.

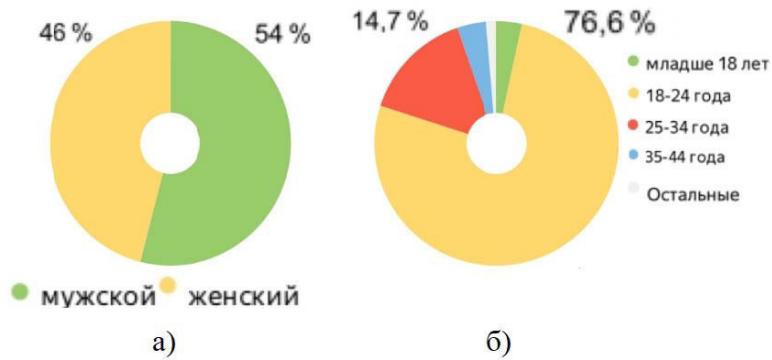


Рисунок 1. а) пол респондентов; б) возраст респондентов

Вопросы представляют упрощенные модели моральных дилемм вне какого-либо реального, информационного или событийного контекста. В них рассматриваются ситуации, когда у автомобиля с автопилотом отказалася тормозная система, скорость автомобиля достаточно велика для того, чтобы убить любого участника движения. Если беспилотный автомобиль может избежать столкновение и спасти обоих участников движения, он это делает. У автопилота есть только три варианта развития событий. Каждая модель рассматривается от первого лица. Модель 1 - пассажир беспилотного автомобиля (рисунок 2, а); модель 2 - пешеход, который переходит дорогу (рисунок 2, б); модель 3 - наблюдатель со стороны (рисунок 2, в). Респондентам необходимо выбрать, как должна поступить машина: вариант 1 - смерть пассажира, чтобы спасти пешехода; вариант 2 - смерть пешехода, чтобы спасти пассажира; вариант 3 - принять случайное решение.



Рисунок 2. Упрощенные модели моральных дилемм:
а) – модель 1; б) – модель 2; в) – модель 3

Результаты исследования. Результаты опроса представлены на рисунке 3, а. Опираясь на полученные данные, можно показать процентное соотношение людей, выбравших во всех трех моделях одинаковый вариант ответа (рисунок 3, б): 18% респондентов доверились случайному решению машины; 5% независимо от ситуации жертвуют пешеходом; меньше 1% готовы пожертвовать пассажиром.

Выводы. Несмотря на малую выборку, после анализа полученных результатов можно сделать вывод, что есть люди, готовые к тому, чтобы искусственный интеллект принял случайное решение в сложной моральной ситуации. Тем не менее, большинство все еще не готовы довериться роботу.

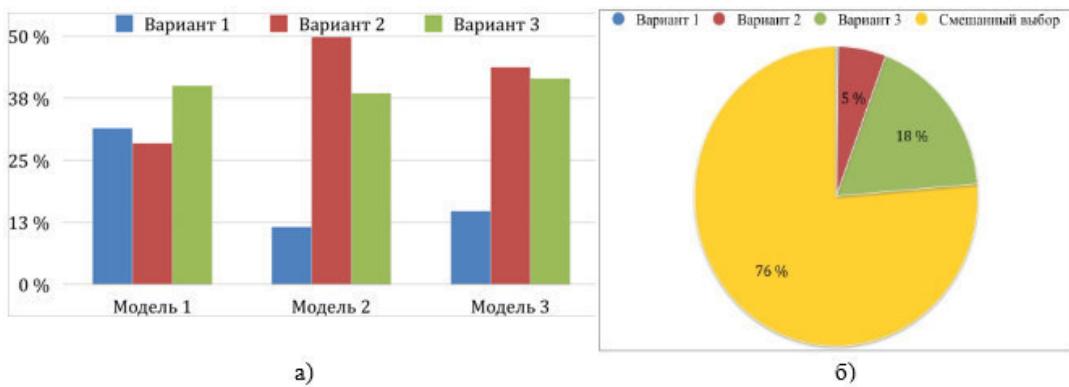


Рисунок 3. а) результаты опроса RobotRight;
б) процент выбравших один вариант ответа во всех трех вопросах.

Данной статистики может быть недостаточно, чтобы помочь в разработке решения вышеописанной проблемы. Поэтому для получения достаточного количества данных требуется провести более масштабный опрос с использованием еще большего числа респондентов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Абдрахманова Г.И. и др. Индикаторы цифровой экономики: 2017: статистический сборник; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики» //М.: НИУ ВШЭ. – 2017.
2. Фасхиев Х.А. Электротранспортировка с автопилотом - будущее магистральных перевозок //Логистика сегодня. – 2018. – Т. 1. – С. 42-56.
3. Майорова О.С. Коммерческое использование дронов в доставке, как проектная деятельность логистики сбыта компаний //Инновационные технологии нового тысячелетия. – 2017. – С. 97.
4. Боженов Ю.А. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики //Гидрофизика. – СПб.: НЦ РАН. – 2011. – Т. 4. – №. 1. – С. 47-68.
5. Костин В., Корнеев С. Автопилот - что нового? [Электронный ресурс] // motor. – URL: <https://motor.ru/reports/autopilotovich.htm>. – (дата обращения: 09.10.2019).
6. Moore G. E. et al. Cramming more components onto integrated circuits. – 1965.
7. Powell J. R. The quantum limit to Moore's law //Proceedings of the IEEE. – 2008. – Т. 96. – №. 8. – С. 1247-1248.
8. Агибалов О.И., Золотарёв А.А. Современные графические процессоры как средства оптимизации параллельных вычислений //Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2014. – Т. 6. – №. 4.
9. Федотовских А.В. От искусственного интеллекта к защите прав роботов [Электронный ресурс]. – URL: https://www.prorobot.ru/nauka/ot_ii_k_zashite_prav_robотов.pdf. – (дата обращения: 09.10.2019).
10. Ладыгина И.В. Социально-этические проблемы робототехники //Вестник Вятского государственного университета. – 2017. – №. 7.

УДК 629.369

А.И. Васильев, Р.Ю. Добрецов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ В ЗАДАННОМ ЕЗДОВОМ ЦИКЛЕ ДЛЯ АВТОПОЕЗДОВ С АКТИВНЫМ И ПАССИВНЫМ ПРИЦЕПОМ

Введение. В настоящее время большой интерес представляет концепция активного прицепного звена в автопоездах специального назначения. Также, ввиду того, что выбросы

вредных веществ от грузового автотранспорта составляют большую часть выбросов от общего уровня выбросов автомобилей [1], особенный интерес представляет концепция автопоездов-гибридов с активным прицепным звеном [2,3].

В работах [4, 5] рассматриваются вопросы проходимости, динамики прямолинейного движения, однако не уделено внимание энергоэффективности данной концепции автопоезда. В частности, в работе [5] предложена методика определения параметров двигателей тягача и прицепа и предложен закон распределения мощности между звенями, где в качестве прототипа автопоезда рассматривается лишь автопоезд, представляющий полный гибрид. Данный вариант гибрида может быть эффективен для военной отрасли. Четырёхосный тягач оснащен дизель-генераторной установкой, от которой мощность подводится в мотор-колесам тягача и трехосного прицепа.

За прототип взят лесовоз в составе тягача Урал 43204-1111-41 и двухосного прицепа-роспуска 904712, предназначенный для транспортировки сортиментов и хлыстов длиной до 23 м по всем видам дорог и местности. Максимальная масса снаряженного прицепа 4500 кг, грузоподъемность (масса перевозимого груза) 16 000 кг

В данной статье рассматривается затраты энергии в заданном ездовом цикле, а также рассматривается схема “параллельный гибрид” (рисунок 2). Этот вариант гибрида интересен для более малых серийных машин, а именно в лесной промышленности, грузоперевозках на автопоездах массой до 30 тонн в труднодоступных районах. Тягач в данном расчете имеет пять передач, тогда как тяговый электродвигатель (ТЭД) прицепа работает совместно с двухступенчатым редуктором.

Концепция параллельного гибрида рассматриваемой в данной статье и работе [3] требует меньше трудозатрат на переоборудование автопоезда (необходимо только переоборудование прицепа и наличие генератора на раздаточной коробке тягача) в отличие от автопоезда с дизель-генераторной установкой.

В модели на данном этапе исследования не учитываются затраты мощности на работу генератора. Вводится допущение, что батареи прицепа полностью заряжены, генератор не работает. Главная цель: расчетная оценка затрат энергии, рекуперации, сравнение показателей энергозатрат.

Расчетные схемы автопоездов с активным и пассивным прицепами, их математические модели в полной мере представлены в работах [4, 5]. Оценка энергозатрат, а именно решение системы дифференциальных уравнений, отражающую динамику автопоезда при прямолинейном движении, производилось в программной среде MatLab/Simulink. Общий вид автопоезда представлен в работе [3]. В качестве модели динамики колеса, была выбрана математическая модель движения колеса по недеформируемой поверхности, также представленная в работах [1,4,5].

В качестве выбранного цикла для оценки энергозатрат и сравнительного анализа энергоэффективности был выбран ездовой цикл The EPA HeavyDutyUrbanDynamometerDrivingSchedule (рисунок 1) [6]. Длина участка заданного цикла составляет 8935 м, при этом средняя скорость движения $V_{ср}=8,43$ м/с=30 км/ч.

Помимо расчета энергозатрат в работе производится расчет всех силовых факторов. Продольная связь тягача и полуприцепа реализуется через силу на крюке, которая вычисляется по следующей зависимости предложенной в работах [4,5]:

$$P_{kp} = (X_{c1} - X_{c2})C_0 + (V_{x1} - V_{x2})B_0$$

где C_0 – коэффициент жесткости сцепного устройства в продольном направлении; B_0 – коэффициент сопротивления демпфера сцепного устройства в продольном направлении; X_{c1} и X_{c2} – координата по оси X центра масс тягача и полуприцепа.

Результаты расчета сил на крюке в результате движения по циклу представлены на рисунок 2.

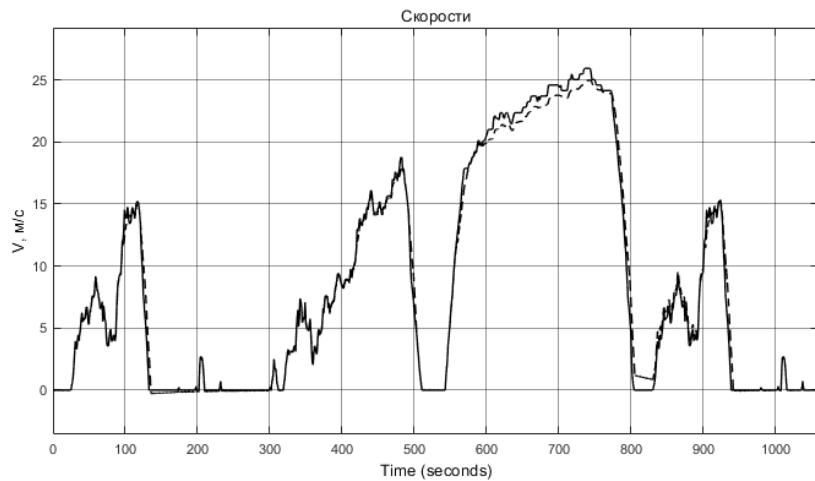


Рисунок 1. Ездовой цикл The EPA Heavy Duty Urban Dynamometer Driving Schedule for heavy duty vehicle testing

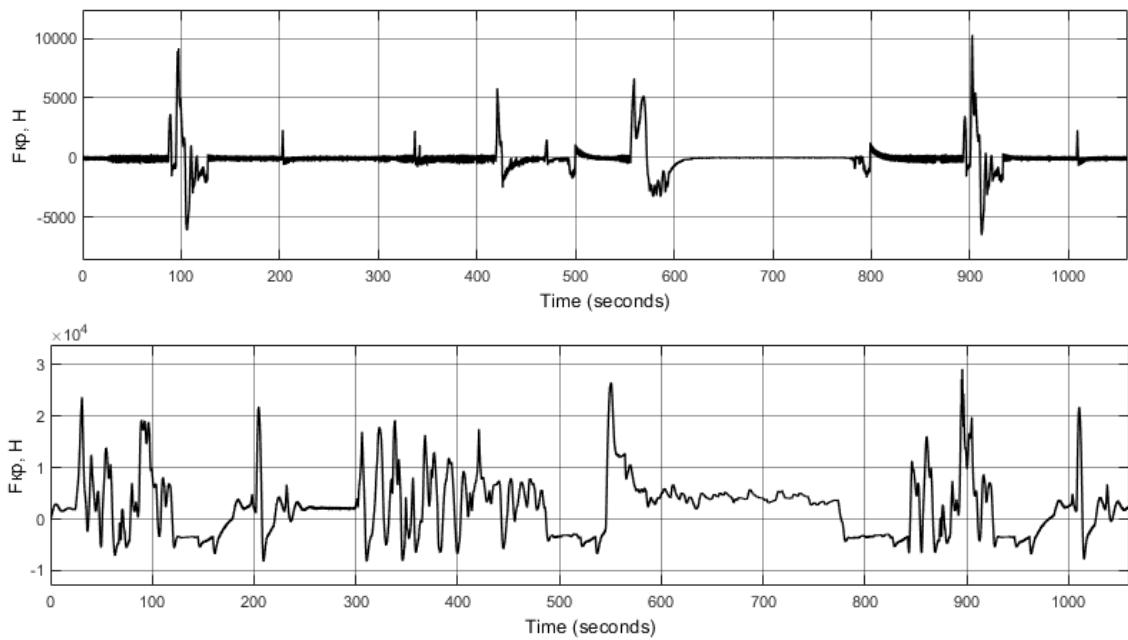


Рисунок 2. Значение силы на крюке во время движения по заданному циклу:
сила на крюке тягача с активным прицепом (наверху), с пассивным прицепом (внизу)

Имитацию движения по заданному циклу обеспечивает пропорционально-интегральный дифференциальный (ПИД) регулятор.

В рамках исследования производится сравнения двух автопоездов общей массой 25 т., суммарная мощность силовых установок равна 350 кВт (таблица 1). Затраты энергии на 1 км пути приведены в этой же таблице.

Выходы. В результате расчета было выявлено, что затраты энергии в заданном ездовом цикле, приходящейся на двигатель внутреннего сгорания тягача, в 1,79 выше, чем у тягача с активным прицепом (таблица 1). При этом доля рекуперации энергии от всей энергии тяговых электродвигателей составляет 16,02 %, несмотря даже на то, что доля тормозных участков в моделируемом цикле сравнительно мала (рисунок 1).

Таблица 1. Фрагмент исходных данных и результатов расчета

	Автопоезд с ПП	Автопоезд с АП	
Двигатель	(прототип Cummins)	Прототип Cummins	Электродвигатель
Мощность (кВт)	350	200	150
Пределы удельного расхода топлива (г/кВт·ч)	215...245	190...225	–
Обороты (об/мин)	800...2200	800...2200	-4500...4500
Результаты расчета (кВт·ч)/ на 1 км пути	0,52	0,29	0,173 (затраты) 0,033 (рекуперация)

Управление ТЭД активного прицепа в данной работе производилось с помощью ПИД-регулятора по разности скоростей звеньев автопоездов. Представляется возможным этот подход свести к построению закона управления по угловым скоростям валов двигателей. Таким образом, возможно создание других законов управления активным прицепом с ТЭД, без использования датчиков для измерения силовых нагрузок в седельно-сцепном устройстве.

Также из графиков видно, что максимальные значения силы на крюке тягача в 2,5 раза меньше у автопоезда с АП, что подчеркивает его в преимуществе также и в безопасности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Определение потребной энергоемкости накопителей электробуса методами имитационного моделирования / Смирнов А.А., Пикалов Н.А. // Инженерный вестник, №12, – 2016. – С. 43-52
2. Автопоезд-гибрид и особенности его проектирования / А.И. Васильев [и др.] // НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбПУ Материалы научной конференции с международным участием. Лучшие доклады. – 2018. – С. 16-20.
- 3 Автопоезд-гибрид в лесопромышленном комплексе / Васильев А.И., Добрецов Р.Ю. // Оптимизация лесопользования и воспроизводства лесных ресурсов. Механизация трудоемких лесных работ. Экологические и биологические основы повышения продуктивности и устойчивости природных и искусственно возобновленных лесных экосистем: – 2018. – С. 154-162.
4. Горелов В.А. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук «Научные методы повышения безопасности и энергоэффективности движения многоосных колесных транспортных комплексов». Москва, 2012 г. – 336 с.
5. Чудаков О.И. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук «Разработка закона распределения мощности между звеньями при прямолинейном движении автопоезда на основе анализа силовых факторов в сцепном устройстве». Москва, 2017 г. – 145 с.
6. VehicleandFuelEmissionsTesting, DynamometerDriveSchedules [Электронный ресурс] : URL: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules> (дата обращения: 10.10.2019).

УДК 65.011.56

Т.М. Крундышев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ПАРКОВОК ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

В 2007 году произошло важное событие в урбанизации, по данным ООН именно в этом году впервые городских жителей в мире стало больше, чем сельского населения. В 2014 году численность городского населения достигла 3,9 млрд. человек (54% от общего количества), а

к 2050 году в городских агломерациях будет проживать уже 66% всех людей на планете. Россия не выпадает из общего тренда, по данным Росстата городское население Российской Федерации на 1 января 2019 года составляет 109 млн. человек, сельское - 37 млн человек. Непрерывно с урбанизацией связан процесс автомобилизации населения. Сейчас Санкт-Петербург переживает последствия беспрецедентной автомобилизации, которая уже привела к большим проблемам на дорогах города. Председатель комитета по транспорту Александр Головин заявил, что за последние восемь лет число автомобилей в Северной столице выросло на 15%, и по количеству легковых машин на 1000 жителей Санкт-Петербург уже обогнал Москву. В результате в городе начинает ощущаться острый дефицит парковочных мест. Затруднения из-за нехватки парковочных площадей сегодня испытывают как центр Петербурга, так и новые районы с плотной многоэтажной застройкой, такие как Мурино и Кудрово. Места для парковки автомобилей также остро востребованы в Приморском, Выборгском и Московском районах с высокой плотностью населения, жители которых отмечают обилие машин, припаркованных на внутридворовых территориях.

Сегодня существуют следующие виды автомобильных парковок [1]:

- наземные плоскостные парковки;
- подземные плоскостные/многоуровневые парковки;
- наземные многоуровневые капитальные парковки из железобетона.

Самыми распространенными и доступными являются наземные плоскостные парковки. Основными недостатками таких парковок являются большое количество занимаемой площади и открытое расположение автомобилей. Эффективность многоуровневых парковок гораздо выше, на небольшой территории многоуровневой парковки можно организовать существенно больше парковочных мест, чем на плоскостной. Расходы на возведение подземных уровней парковок выше, чем наземных, и повышаются с каждым этажом [2]. Возведение капитальных перекрытий из железобетона также удорожает проект и увеличивает срок окупаемости такой парковки, помимо этого практика показала, что водители неохотно пользуются уровнями выше третьего.

Для решения поставленной проблемы предлагается использовать «умные» автоматические парковки (smartparking) [3]. Многоярусные автоматические парковки могут являться единственным возможным решением, где существует нехватка парковочных площадей. Например, в центральных, деловых и других районах мегаполисов с плотной застройкой, обладающих исторической и культурной ценностью.

За счёт разнообразия и многофункциональности оборудования автоматическая парковка может быть легко адаптирована под любой проект. «Умные» многоярусные парковки обеспечивают безопасность, исключая несанкционированный доступ в систему. Отсутствует необходимость самостоятельного перемещения в паркинге, поскольку процесс парковки/выдачи происходит в автоматическом режиме без участия водителя, в результате водителю необходимо тратить гораздо меньше времени [4]. Помимо этого для многоярусных автоматических парковок свойственны бесшумность и экологичность.

При создании автоматических парковок особенно важен этап проектирования. Необходимо обеспечить устойчивую работу всех механизмов, чтобы избежать сбоев в работе парковочной системы. Выход из строя модуля системы может стать причиной повреждения припаркованного автомобиля, поэтому с использованием программ для моделирования AutoCAD, SolidWorks и SketchUp был разработан цифровой двойник [5] «умной» парковки. На рисунке 1 представлена 3D-модель многоуровневой автоматической парковки на 49 машино-мест, с общей площадью 270 кв. м. и высотой 22 метра. При использовании традиционной плоскостной парковки на этом участке возможно разместить только восемь автомобилей.

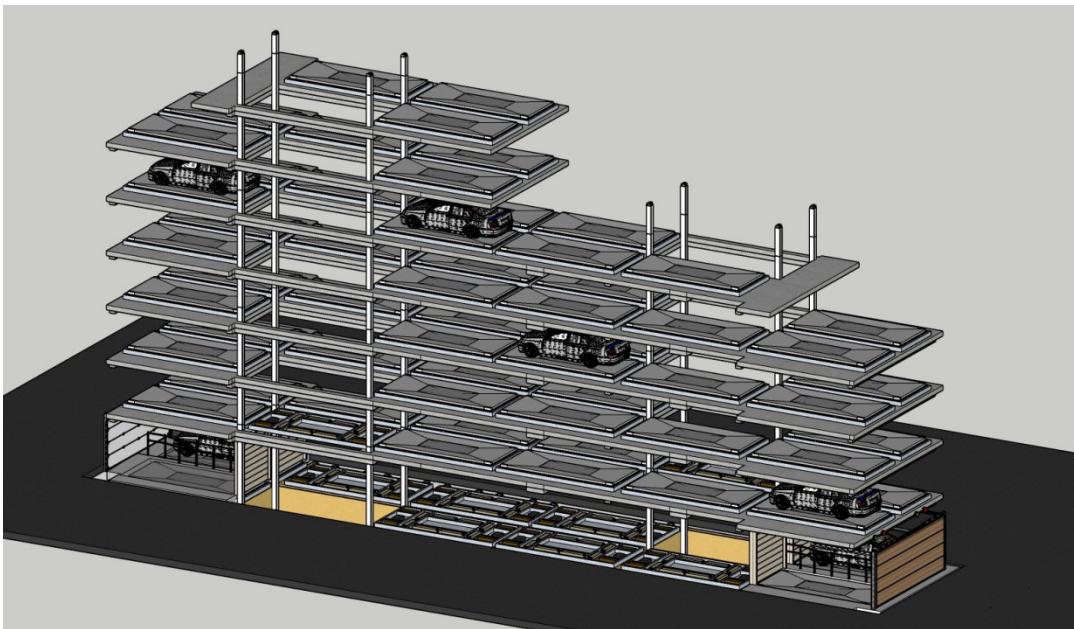


Рисунок 1. 3D-модель автоматической парковки

При создании парковки учитывалась плотность застройки в Санкт-Петербурге и климатические особенности. Чтобы парковка была востребована среди автомобилистов, она должна быть легкой в использовании и безопасной для пользователя и автомобиля. Проанализировав все существующие решения, было решено использовать систему, в которой пользователь заезжает в бокс(зону приёма) на паллет(платформу), после чего автомобиль без водителя на паллете перемещается при помощи роликов на гидравлической тяге. Получить свой автомобиль обратно можно с противоположной стороны парковки.

Выходы. Благодаря современным технологиям огромный поток информации о парковках может быть успешно получен и сохранен в базах данных. Использование «умных» автоматических парковок оказывает позитивное влияние на экологию. Пользователи не тратят время на поиски свободного места, что, в свою очередь, приводит к уменьшению пробок и сокращению выбросов CO₂. Наличие множества датчиков, беспроводного доступа и компьютеризация всей парковочной системы приводит к возникновению нового понимания парковки: парковка как сервис.

Помимо этого использование автоматической парковки в Санкт-Петербурге позволяет избежать «визуального мусора» в виде автомобилей в исторических районах, где архитектором не было предусмотрено наличие автомобилей вдоль тротуаров. А сами тротуары удастся расширить без вреда для дорожного трафика, что, несомненно, положительно повлияет на городскую среду.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Галкина Наталья Григорьевна Исследование городских парковок // Вестник ХНАДУ. 2010. №50.
2. Акобя Г.В. Проблема недостатка парковочных мест в мегаполисах России. Виды парковок // Современные научные исследования инновации. 2018. № 5
3. Khanna A. and Anand R. IoT based smart parking system. // 2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA), Pune, 2016.– С. 266-270
4. Морозова Д.А. Применение многоярусного паркинга в условиях плотной застройки.// Аллея науки, №5, 6 (22), 2018. –С 281-284

5. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Марусева В.М. «Умные» цифровые двойники – основа новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения // Трамплин к успеху. Цифровая экономика знаний. 2018. № 13. –С. 13-17.

УДК 656.05

М.Р. Лебедева, А.В. Стúкач

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПЕРЕКРЕСТКА

Пропускной способностью полосы улиц и дорог регулируемого движения называется зависящее от условий и организации движения максимальное количество транспортных средств, проходящих по полосе в течение одного часа в одном направлении при соблюдении условий безопасности движения [1].

Повышение пропускной способности улиц и перекрестков является очень актуальной задачей. Одним из наиболее загруженных перекрестков в Калининском районе является пересечение проспектов Тихорецкого и Светлановского. Загрузка проездной части улиц и пешеходных переходов определяется пропускной способностью.

Расчет пропускной способности при смешанном по структуре потоке производится в приведенных единицах. Теоретическая пропускная способность одной полосы движения (N_T) определяется по формуле

$$N = \frac{3600V}{L} \quad (1)$$

где V – скорость движения потока, м/с, принимаемая в зависимости от класса магистралей по СНиП и «Рекомендациям по проектированию 4 улиц и дорог городских и сельских поселений» в зависимости от категории магистралей» [2];

L – величина динамического габарита, м.

Расчет пропускной способности ведется из условия невозможности перехода на смежную полосу при полном использовании пропускной способности проездной части. В этих условиях величина L определяется с использованием третьей группы упрощенных динамических моделей движения по формуле

$$L = t_p V + (l''_m - l'_m) + l_0 + l_a, \quad (2)$$

где t_p – время реакции водителя от начала торможения переднего автомобиля до начала торможения заднего автомобиля.

Δt – средняя задержка автомобилей перед светофором, которая определяется по формуле

$$\Delta t = \frac{T_{\text{ц}} - t_3}{2} \quad (3)$$

где $T_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла регулирования, с; t_3 – продолжительность зеленой фазы, с.

Это отношение называется уровнем загрузки проездной части движением и находится в пределах $0 <= Z <= 1$. При уровне загрузки $Z = 0,3-0,45$ наблюдается наиболее устойчивое по характеристикам движения состояние потока. Смена полос движения практически не ограничена. Чем ближе значение Z к 1, тем выше плотность транспортного потока, ниже скорость, сложнее условия движения [2].

Работа в режиме пропускной способности невыгодна во многих отношениях. При уровне загрузки $Z >= 0,8$ наблюдается предельное насыщение потока, движение потока неустойчивое, постоянно образуются заторы, смена полос очень затруднительна, средняя

скорость составляет 10–12 км/ч, возрастают транспортные расходы. Эксплуатация улиц при таком уровне загрузки нецелесообразна [3].

Для проведения расчета был выбран перекресток проспектов Светлановский и Тихорецкий. В ходе исследования было установлено, что за один такт проезжает (рисунок 1):

Транспорт	Налево	Прямо	Направо	Итого
Грузовой авт.	-	3	-	3
Легк. Авт.	6	27	20	53
Автобус	1	3	1	5
Марш.такси	3	7	4	14
Троллейбус	1	1	-	2
Мотоцикл	-	1	-	1
Трамвай	-	3	-	3

Рисунок 1. Транспорт

Класс улицы — проспект общегородского значения регулируемого движения. Существующая интенсивность движения в час-пик в натуральных единицах (N_i) представлена в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные

грузовые автомобили	легковые автомобили	автобусы	маршрутные такси	троллейбусы	мотоциклы
40	210	40	47	17	10

- Расстояния между регулируемыми перекрестками $L_{\Pi} = 250$ м. ;
 - Режим регулирования $T_{\Pi} = 60$ с = 27+3+27+3 с;
 - Величина ускорения $a = 1 \text{ м/с}^2$;
 - Величина торможения $b = 1,5 \text{ м/с}^2$;
 - Количество полос движения в одном направлении $n = 3$;
 - Скорость потока $V = 55$ км/ч (по данным исследований).
- а) существующая интенсивность движения в приведенных единицах

$$N_{\text{сущ}} = 40 \cdot 2 + 210 \cdot 1 + 47 \cdot 2,5 + 40 \cdot 4 + 17 \cdot 3 + 10 \cdot 0,5 = 624 \text{ ед/ч};$$

б) теоретическая пропускная способность одной полосы при $V = 55$ км/ч = 15,7 м/с

$$N_m = \frac{3600 * 15,7}{15,7 + 7 + 0,1 * 15,7^2} = 1194 \text{ ед/ч}$$

в) влияние светофорного регулирования

$$a = \frac{250}{250 + \frac{(15,7^2)}{2} (\frac{1}{1} + \frac{1}{1,5}) + 15,7 (\frac{60-27}{2})} = 0,35$$

г) пропускная способность многополосной проезжей части

$$N_m = 1194 \cdot 2,7 \cdot 0,35 = 1129 \text{ ед/ч};$$

д) уровень загрузки магистрали

$$Z = N_{\text{сущ}} / N_m = 627 / 1129 = 0,56 < 0,8$$

Пропускная способность не исчерпана. Фотографии затора во время проведения исследований приведены на рисунке 2.



Рисунок 2. Затор при красном сигнале светофора

Согласно выполненным расчетам для данного перекрестка достаточно двух полос движения. Причины неисчерпанной пропускной способности перекрестка заключаются в отсутствии оптимального режима регулирования. Увеличить пропускную способность нужно за счет увеличения времени для потока машин и сокращения времени включения зеленого сигнала для пешеходов. Для пересечения пешеходами трех полос достаточно 20 секунд) [4].

Другими возможными вариантами увеличения пропускной способности перекрестка являются: разделение транспортных потоков по типам транспортных средств; регулирование скорости потока с учетом загрузки проспекта; увеличение расстояния от перекрестка до остановок маршрутных такси и городского транспорта; строительство пешеходных переходов в разных уровнях. Однако эти мероприятия требуют дополнительных исследований и значительных финансовых и материальных затрат.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кременец Ю.А. Технические средства регулирования дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский. – М. : Транспорт, 1981. – 252 с.
2. Рекомендации по проектированию улиц и дорог городских и сельских поселений / ЦНИИПГрадостроительства. – М. : 1994. – 88 с.
3. Бадалов В.В. Надежность принятия решения при управлении транспортными системами / В.В. Бадалов Труды СПбГПУ / Министерство образования Российской Федерации Санкт-Петербург 2005 Технологические и транспортные системы. Логистика С. 76-83 Библиог.: с. 83.
4. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 56 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Секция «Автоматы, мехатроника и робототехника»	3
Брянский А.А., Васильев А.К., Попов А.Н. Анализ сигнала ударного акселерометра.....	3
Решетов Д.В., Попов А.Н. Балансировка ротора испытательной центрифуги	6
Полищук М.Н., Штрекер Д.С. Компьютерное моделирование формирователя ударных импульсов	9
Козлович А.В., Волков А.Н., Кочнева О.В. Воздушная подушка выкатного поля стадиона "ГАЗПРОМ-АРЕНА".....	12
Крохмаль В.В., Клюкин В.Ю., Сорокина Е.В. Вычисление начальных параметров для корректной работы виброфуги.....	15
Волков Н.А., Корнилова А.А., Мацко О.Н., Ларин М.Ю. Исследование циклических приводов роботов и технологического оборудования как мехатронных систем	18
Фатеева Е.А., Орлов А.Т. Изучение и настройка регулятора для аппарата баллонной окклюзии аорты.....	21
Ильиных И.В., Волков А.Н., Валиев Р.Р., Шиянов П.С., Штрекер Д.С. Замена циклического привода на позиционный в магазине инструментов обрабатывающего центра.....	23
Брунман М.В., Петкова А.П., Уткин Г.А., Куанышова А.А. Мобильный автоматизированный комплекс по производству феррата натрия	26
Головин М.А. Разработка макета модуля стабилизации мехатронного инвалидного кресла-коляски	29
Берро С., Тимофеев А.Н. Манипуляционная система для реабилитации	32
Антонов И.Д. Исследование вопросов проектирования автоматизированных систем поддержания жизнеспособности раненых на этапе эвакуации	34
Филатов Н.С., Фомин И.С., Бахшиев А.В. Применение сверхмалых нейронных сетей на маломощной платформе в задаче видеоаналитики	37
Мальцева Н.А., Филатов Н.С., Бахшиев А.В. Разработка системы для обеспечения контроля соблюдения техники безопасности на производстве с применением сверточных нейронных сетей	40
Исаков Т.Т., Орлова С.Р. Применение глубоких нейронных сетей в задаче сегментации изображений дорожной обстановки	43
Феч Н.С., Ильина И.А. Исследование влияния механических свойств материалов на прочность сварного шва гибкой рулонной упаковки	46
Марков М.Е., Варлашин В.В. Создание программного обеспечения для выделения фаз шага человека	50
Лысенко Л.А., Ильина И.А. Исследование оптимальных параметров изготовления фотополимерных флексографских форм и сравнение их с альтернативными аналогами с целью улучшения качества печати на гофрокартоне.....	53
Ильина И.А., Хамзина С.С. Внедрение цифровой резонаторной лазерной печати в полиграфическое производство	56

<i>Климонтов К.А., Ваганов В.В.</i> Исследование влияния различных растворителей на реологические характеристики жидкого тонера для струйной печати DROP-ON-DEMAND.....	58
<i>Угрюмов А.В., Ильина И.А.</i> Модернизация машины флексографической печати с целью ускорения переналадки.....	61
<i>Маркевич И.Е., Ваганов В.В.</i> Исследование свойств красок на основе нанопигментов, получаемых с применением смеси красителей.....	63
<i>Zhao Ruonan, Ma Rulin</i> Optimization of process parameters of modeswitching frame based on regression analysis and genetic algorithm	66
<i>Елагина А.К., Хлебосолов И.О.</i> Ударный стенд с повышенными энергетическими характеристиками	70
 Секция «Компьютерные технологии и инновации в машиностроении»	
<i>Кочкин Е.С., Седлер М.Х., Кокорин М.С.</i> Разработка программного обеспечения для анализа состояния теплотрасс	73
<i>Паскаренко А.М., Седлер М.Х., Ситкин Д.С.</i> Создание конструкции блока для установки в тепловых камерах датчиков и устройств термоэлектрического питания	76
<i>Жукова А.А., Морозова И.В., Скрябнева Ю.</i> Подготовка испытательной лаборатории к аттестации	79
<i>Гайсин Р.Р., Яхяева Е.У., Ивановский Д.К., Козарь И.И.</i> Применение методики трехмерного моделирования, учитывающей технологический способ изготовления изделия, при создании цифровых двойников	82
<i>Яхяева Е.У., Гайсин Р.Р., Седлер М.Х.</i> Разработка опытного образца комплекса роботизированной сортировки отходов	85
<i>Тимофеев М.Н., Пичхидзе С.Я.</i> Совершенствование системы управления инновационной деятельностью предприятий обрабатывающей отрасли методами нечеткой логики	87
<i>Солопова А.А., Пасюкова М.А., Долганов И.М., Долганова И.О., Бунаев А.А.</i> Исследование влияния расхода линейного алкилбензола на выход целевого продукта т динамику накопления вязкого компонента в пленочном реакторе сульфирования с применением метода математического моделирования	90
<i>Васильева Я.С., Седлер М.Х., Кожанова Ю.В.</i> Технико-экономический анализ и продвижение проекта удаленного мониторинга состояния трубопроводов тепловых сетей путем применения акустических датчиков утечек	92
<i>Прокопчук А.С., Седлер М.Х., Петраш В.И.</i> Разработка системы самооценки деятельности организации	94
<i>Алексеев И.Н., Ананьин И.Э., Фернандо А.Д.</i> Использование модельно-ориентированного проектирования автоматизированных производственных систем в машиностроении	97
 Секция «Трибоматериаловедение, конструирование и компьютерное моделирование деталей машин и механизмов»	
<i>Ашайчик А.А., Зорин Д.К.</i> Исследование антифрикционных свойств карбонов и их устойчивости к взрывной декомпрессии	102
<i>Ашайчик А.А., Грязнов Е.С.</i> Экспериментальное исследование динамического модуля и модуля внутреннего трения полиуретанов	104

<i>Бреки А.Д., Иванова Г.В., Тарасенко Е.А.</i> Лабораторный практикум "Исследование трения и истирания материалов транспортирующего оборудования"	107
<i>Зимин Д.В.</i> Исследование трибологических характеристик синтетических масел с содержанием мелкодисперсного модификатора.....	110
<i>Ашайчик А.А., Зорин Д.К., Пилищук Л.С.</i> Исследование прочностных свойств композитной матрицы кабеля-толкателя для нефтяных скважин	113
<i>Аверьянова Е.И., Голубева И.С., Полонский В.Л.</i> Определение и сравнение прочностных характеристик корпусов цилиндрических редукторов.....	115
<i>Стрельникова А.А., Скотникова М.А.</i> Контроль качества производства заготовок цементуемых деталей, работающих на трение.....	118
<i>Серазутдинов И.Р., Бреки А.Д.</i> Закономерность трения верчения сталей	121
<i>Мешков А.К., Шубин Н.А.</i> Конструирование трехрычажового соединительного хомута для подводного оборудования под высоким давлением	124
<i>Шубин Н.А., Полонский В.Л.</i> Расчет корпуса и валов редуктора на жесткость с помощью SolidWorks.....	127
<i>Голубева И.С., Аверьянова Е.И., Полонский В.Л.</i> Определение и сравнение прочностных характеристик валов цилиндрических редукторов	129
<i>Козлов М.В., Зaborский Е.В.</i> Малогабаритная лабораторная машина трения одностороннего вращательного действия	132
<i>Мешков А.К., Москалец А.А.</i> Расчет колебаний установки для испытаний электрогенератора	134
<i>Шубина Т.В., Кувшинов К.А.</i> Вибрационный источник сигналов для сейсморазведки	138
<i>Насонов А.С., Толматеев А.Д.</i> Анализ трибосопряжения «Зубчатая рейка – цевочное колесо».....	141
<i>Тарасенко Е.А., Шушков А.С.</i> Исследование материалов футеровки приводного барабана ленточного конвейера	143
<i>Кулик Е.А., Фернандо А.Д., Иванова Г.В., Цветкова Г.В.</i> Исследование триботехнических свойств поверхностного слоя биметаллов	146
<i>Дмитрук А.В., Максимов Д.А., Гордиенко К.О.</i> Перспективы развития путевых мобильных средств передвижения личного пользования	148
<i>Муллаева В.Р., Перепелкина С.Ю.</i> Проектирование машины трения для испытания абразивного изнашивания	151
<i>Зимин Д.В.</i> Исследование влияния модификаторов на трибологические свойства смазочного материала.....	154
<i>Бреки А.Д., Мазниченко А.А.</i> Исследование противоизносных свойств алмазосодержащих нанокомпозитов и твердого сплава в условиях трения скольжения по круговой траектории по схеме «Ролик – плоскость»	157
<i>Василевский М.Р., Александров В.А.</i> Исследование динамической нагруженности трансмиссии трактора Кировец К-4	159
 Секция «Инженерная графика и дизайн».....	162
<i>Кузиленкова Е.В., Лаптев В.В.</i> Типологический анализ инфографики в современных средствах массовой информации	162
<i>Логунов Д.Г.</i> Применение методов и моделей прогнозирования временных рядов для оценки циклической нагрузки в облачных системах	165

<i>Хухарева А.И., Янчус В.Э.</i> Разработка способа сравнения концепций информационного дизайна с использованием методов количественной оценки.....	168
<i>Барткевиччуте Н.А., Зубов А.Г.</i> Ребрендинг фирменного знака для Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого: черты, стилизация	171
<i>Авдеева А.А., Янчус В.Э.</i> Зрительное восприятие и запоминание художественных композиций в стилистике кубизма, абстракционизма и реализма	174
<i>Жельвите А.К., Воронина Е.В., Вуль О.А.</i> Интерпретационная колористика. Преобразование фасадов дошкольных учреждений периферийных районов Санкт-Петербурга	177
<i>Лобова Л.Ю., Абдулаева З.И.</i> Анализ популярности использования архитектурных стилей при дизайн моделировании игровых локаций	180
<i>Сторчак И.И., Абдулаева З.И.</i> Анализ графических интерфейсов мобильных приложений планеров	184
<i>Иванов В.М., Черкасов М.Е.</i> Разработка обучающих фильмов пооткрытой челюстно-лицевой хирургии для медицинских учебных заведений	186
<i>Кокорин М.С., Никитина Т.А.</i> Задача реконструкции перспективных изображений как реализация частного случая схемы Гаука	189
<i>Чжен Фенпин, Зубов А.Г.</i> Роль коммуникативного дизайна в предметном дизайне упаковки.....	191
Секция «Технология конструкционных материалов и материаловедение»	193
<i>Радкевич М.М., Кузьмичев И.С.</i> Технологические основы формирования качества внутренних протяженных поверхностей при ПЭПП	193
<i>Кудрявцев Н.В., Бектурсунов А.Б.</i> Сравнительный анализ механических свойств изделий из углеродного волокна различной толщины и стеклоткани Влияние диапазона температур на структуру углеродного волокна	196
<i>Богомолов В.Д.</i> Автоматизированное струйное электролитно-плазменноеполирование - АСЭПП	198
<i>Егоров И.С., Фомин А.А., Щелкунов А.Ю.</i> Формирование износостойких слоистых систем инструментального типа.....	201
<i>Богданова Е.А., Диденко А.Л., Кобыхно И.А., Кудрявцев В.В., Толочко О.В.</i> Получение и исследование полиуретанимидов с подходом тонкого регулирования структуры для создания демпфирующих материалов	203
<i>Борисевич В.Д., Шемякинский Б.А.</i> Гидроабразивный износ различных покрытий.....	206
<i>Петрухин Ю.В., Радкевич М.М.</i> Определение оптимального режима термической обработки титанового сплава для изготовления пружин.....	208
<i>Колесин К.Г., Берестенников Е.С., Новоселов М.В.</i> Влияние струйного электролитно-плазменного полирования на точность выполнения размеров	211
<i>Фролова Е.О., Лобов В.А.</i> Разработка технологии изготовления турбинной лопатки.....	214
<i>Махорин В.В.</i> Структура алитированного слоя жаропрочного никелевого сплава и его влияние на сопротивление сульфидной коррозии.....	218
<i>Петрович В.С., Левин Д.А., Грибанов И.П., Новоселов М.В.</i> Струйная обработка внутренних поверхностей	221

<i>Пуказов Я.Г., Бортнянский Д.Д., Кудрявцев В.Н., Третьяков В.П.</i>	
Проектирование технологического блока установки для электрогидроимпульсной выбивки стержней	224
<i>Курятников А.А., Мамутов В.С.</i> Компьютерное моделирование магнитно-эластоимпульсной формовки мембран из фольги.....	226
<i>Мельников И.И., Ананьев И.Э., Мамутов В.С.</i> Компьютерное моделирование формовки листового металла полиуретаном	229
<i>Блажевич В.В., Мамутов В.С., Новиков А.В.</i> Оценка возможности изготовления детали "Ролик эко beta" методом холодного выдавливания	232
<i>Паскина А.И., Мамутов В.С.</i> Компьютерный расчет статико-электрогидроимпульсной вытяжки тонколистового металла.....	235
<i>Потапов Н.М., Аксенов Л.Б.</i> Течение металла в процессах раскатки трубных заготовок	238
<i>Соколов Н.В., Кузнецов П.А.</i> Оценка пригодности порошковых алюминиевых заготовок для получения антифрикционного композита типа псевдосплав.....	241
<i>Авеев М.А., Ильюшенко В.Д.</i> Компьютерное моделирование процесса горячей объемной штамповки с использованием критерия разрушения Леметра.....	243
<i>Маленький В.А., Жукова М.А.</i> Азотирование, как эффективный способ повышения износостойкости деталей машин	245
<i>Урядченко М.А., Игнатенков М.В., Кункин С.Н.</i> Разработка технологии закрытой объемной штамповки детали "Кольцо"	247
<i>Маленький В.А., Жукова М.А., Яковицкая М.В., Крупкина Е.Н.</i> Анализ размерных изменений икоэрцитивной силы в процессе твердения мартенсита в высокоуглеродистых сталях	250
<i>Тимофеев М.Н., Пичхидзе С.Я.</i> Особенности создания кузнечного молота на принципах электромагнитного ускорителя	252
<i>Захаров С.В., Коротких М.Т., Гонибесова Е.В.</i> Ионизационная модель электролитно-плазменного полирования	255
Секция «Технология машиностроения»	259
<i>Ковеленов Н.Ю., Бурдин П.В., Тырина К.В.</i> Исследование параметров процесса резания при токарной обработке с помощью геометрического анализа стружки на оптической трехкоординатной измерительной машине.....	259
<i>Адмакин М.А., Быченко Д.А.</i> Улучшение равномерности фрезерования при работе периферией и торцем фрезы.....	262
<i>Быченко Д.А.</i> Влияние режимов резания на уменьшение вибраций при обработке концевыми фрезами наклепываемых материалов.....	265
<i>Савельев И.С., Слатин В.И.</i> Реконструкция прецизионных поверхностей с уступами по результатам измерений на длиннобазовом профилометре	268
<i>Калистратов В.В., Калистратов В.В., Прудников А.И.</i> Повышение стойкости инструмента для штамповки материала 47НД	271
<i>Яхяева Е.У., Гайсин Р.Р., Адмакин М.А., Адмакина О.Н.</i> Организация входного контроля крепежных изделий на машиностроительных предприятиях	273
<i>Прокопенко В.А., Пелевин Н.А., Семенюк Н.А., Баранов М.А.</i> Исследования критериев динамического качества при конструировании шпиндельных гидростатических подшипников	276

<i>Морев А.С.</i> Оптимизация черновых операций механической обработки металлов резанием методом плунжерного фрезерования с использованием непрофильного инструмента	279
<i>Хамидуллин А.Р., Слатин В.И.</i> Усовершенствование технологического процесса механической обработки корпуса картера.....	281
<i>Зезюков А.Е., Козарь И.И.</i> Современные тенденции эффективности технологических процессов изготовления зубчатых колес	283
<i>Кияев И.С., Макарова Т.А., Хлопков Е.А., Турзаков А.С., Вьюненко Ю.Н.</i> Влияние диаметра сечения проволоки из сплава TiNi на деформационно-силовые свойства кольцевых силовых пучковых элементов.....	286
<i>Степанов С.С., Степанов С.Н.</i> Расчет неопределенности измерений на компараторе УКМ 100	289
<i>Кунарев Е.А., Макарова Т.А.</i> Исследование влияния режимов резания на температуру и напряжения в материале при лезвийной обработке стеллитового сплава.....	292
<i>Маратов К.К., Слатин В.И.</i> Адаптация технологического процесса изделия "Корпус статора"	295
<i>Анисимова В.Э., Любомудров С.А.</i> Проработка вопросов повышения качества изготовления зубчатого колеса	297
<i>Савельев И.С., Слатин В.И., Ли Шуньцай</i> Технологическое моделирование автоматизированного процесса полирования малоразмерным инструментом	299
 Секция «Транспортные и технологические системы».....	
<i>Меркулов А.С., Добрецов Р.Ю., Пуказов Я.Г.</i> Модернизация колесных платформ автоматического внутризаводского транспорта	303
<i>Дубовая К.А., Соколов С.А.</i> Автоматизированная автомобильная парковка стеллажного типа со штабелером	306
<i>Увакина Д.В., Лозин А.В., Добрецов Р.Ю.</i> Модернизация гусеничной цепи с шарниром параллельного типа	309
<i>Васильев И.А.</i> Анализ напряженно-деформированного состояния области при вершине трещины	312
<i>Васильев А.И., Добрецов Р.Ю.</i> Комплекс для интерактивного моделирования динамики движения машин на основе пакета MATLAB SIMULINK.....	315
<i>Паутова Т.А., Стукач А.В.</i> Стенд для изучения процессов трения.....	318
<i>Николаева Н.В., Стукач А.В.</i> Малогабаритная лабораторная машина трения возвратно-поступательного действия.....	321
<i>Неусмехова Е.М., Соколов С.А.</i> Исследование изменений механических характеристик стали в условиях отрицательных температур.	324
<i>Пуказов Я.Г., Коршакова И.А., Меркулов А.С.</i> Беспилотный автомобиль, принимающий случайное решение в сложной моральной ситуации	326
<i>Васильев А.И., Добрецов Р.Ю.</i> Расчетная оценка энергозатрат в заданном ездовом цикле для автопоездов с активным и пассивным прицепом	329
<i>Крундышев Т.М.</i> Использование автоматических парковок для решения проблемы транспортной доступности Санкт-Петербурга	332
<i>Лебедева М.Р., Стукач А.В.</i> Исследование пропускной способности перекрестка	335

НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбПУ

Материалы научной конференции
с международным участием

18–23 ноября 2019 года

**ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ,
МАТЕРИАЛОВ И ТРАНСПОРТА**

Часть 2

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

Подписано в печать 11.02.2020. Формат 60×84/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 21,5. Тираж 40. Заказ 108.

Отпечатано с готового оригинал-макета,
предоставленного организационным комитетом конференции,
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.