

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ярославский государственный технический университет»

**Семьдесят вторая всероссийская
научно-техническая конференция
студентов, магистрантов и аспирантов
высших учебных заведений
с международным участием**

Часть 2

Сборник материалов конференции

Электронное издание

Ярославль
2019

© Ярославский государственный технический университет, 2019
ISBN 978-5-9914-0764-9

УДК 378:001.891
ББК 74.58
С30

С30 Семьдесят вторая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 24 апреля 2019 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 2 [Электронный ресурс]. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2019. – 1129 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Во вторую часть сборника вошли материалы, представляющие результаты научно-исследовательской деятельности студентов, магистрантов и аспирантов в области машиностроения, автоматизации в производственной и непроизводственной сферах, стандартизации, метрологии и сертификации, материаловедения и технологии материалов, инженерно-педагогических дисциплин, строительства и архитектуры, а также управления качеством.

Минимальные системные требования:
PC PentiumIV, 512 Мб ОЗУ, Microsoft Windows XP, Adobe
Acrobat Reader, дисковод CD-ROM, мышь

© Ярославский государственный технический университет, 2019

Программное обеспечение:
Microsoft Office Word, Adobe Acrobat

Программное обеспечение для воспроизведения электронного издания:
Adobe Acrobat Reader, браузеры Google Chrom, Yandex

Редакционная коллегия: Е.О. Степанова, А.В. Колобов, Е.А. Вавилова, В.Б. Доброхотов, Т.В. Ключева, С.Г. Кондаков, М.Н. Кюребекова, А.Е. Лебедев, Г.В. Рыбина, С.В. Шкиотов

Редактор Л.С. Кокина

Инженер по электронным изданиям: Е.В. Александрова

Подписано к использованию/размещению на сайте

18.04.2019/19.04.2019

Объем издания: Мб

Комплектация издания 1 CD-ROM

Ярославский государственный технический университет
150023, г. Ярославль, Московский пр., 88
<http://www.ystu.ru>

Контактные телефоны: 8 (4852) 44-12-70

(4852) 44-68-15

Сборник конференции включает материалы следующих секций:

Часть 1

1. Химия и химические технологии
2. Промышленная экология
3. Физико-математические науки
4. Энергетические машины и наземный транспорт

Часть 2

1. **Машиностроение**
2. **Автоматизация в производственной и непроизводственной сферах**
3. **Стандартизация, метрология и сертификация**
4. **Материаловедение и технология материалов**
5. **Инженерно-педагогическое образование**
6. **Строительство и архитектура**
7. **Управление качеством**

Часть 3

1. Информационные технологии
2. Экономика и управление
3. Гуманитарные науки
4. Лингвострановедение и переводоведение

СЕКЦИЯ «МАШИНОСТРОЕНИЕ»

УДК 621.929.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА КАЧЕСТВО СМЕСИ В НОВОМ СМЕСИТЕЛЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

С.Н. Черпицкий, М.Ю. Таршис

Научный руководитель – **М.Ю. Таршис**, д-р техн. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Обсуждаются результаты экспериментальных исследований влияния режимных параметров нового барабанного смесителя на качество получаемой сыпучей смеси. Построены зависимости, аппроксимирующие результаты экспериментов. В связи с полученными результатами, рассмотрены предпосылки к расчету нового смесителя.

Ключевые слова: смеситель, сыпучие материалы, концентрация, коэффициент загрузки, коэффициент неоднородности.

OPERATING PARAMETRES EFFECT TO THE QUALITY OF MIXTURE IN THE ADVANCED MIXING BULK TANK EXPERIMENTAL STUDIES

S.N. Cherpitskiy, M.Yu. Tarshis

Scientific Supervisor – **M.Yu. Tarshis**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The operating parameters effect to the quality of mixture in the advanced mixing bulk drum are discussed. Approximated experimental results characteristic curves are constructed. According to the obtained results, the prerequisites for advanced mixing bulk tank are considered.

Keywords: mixing tank, bulk materials, concentration, loading coefficient, non-homogeneity coefficient.

Разработка любого технического устройства должна быть основана на надежных экспериментальных данных и адекватном описании

процесса, реализуемого этим устройством. В данной работе рассматриваются результаты исследований процессов смешения сыпучих материалов в новом смесителе барабанно-лопастного типа [1]. Смеситель включает горизонтальную емкость, выполненную в виде эластичных камер (покрышек), размещенных внутри цилиндрического корпуса, установленного на роликах, которые связаны с приводом вращения. Борты камер надрезаны и их фрагменты отогнуты поочередно в противоположных направлениях с образованием дополнительных рабочих элементов - лопастей, которые соединены с механизмом регулировки углов их наклона. Камеры сообщаются с патрубками загрузки и выгрузки компонентов смеси. В зависимости от числа камер смеситель может содержать одну и более ступеней. При исследованиях использовалась бесконтактная методика определения критерия качества смеси [2]. Ниже приводятся результаты исследования влияний концентрации смеси и коэффициента загрузки материалов на однородность получаемых составов. Известно, что одна из задач смешивания состоит в приготовлении качественных составов, имеющих концентрации компонентов 0,2-0,1 и менее. Зависимости коэффициента неоднородности от концентрации смеси, показанные на рис. 1, а), являются линейными и соответствуют известным результатам, полученным для барабанных смесителей, например, [3]. При этом следует отметить и существенную зависимость коэффициента V_c от расстояния L_p - от среза лопасти до исследуемого сечения материала, в котором устанавливалась прозрачная кольцевая перегородка, через которую, в соответствии с методикой [2], фиксировались и подвергались анализу изображения смеси.

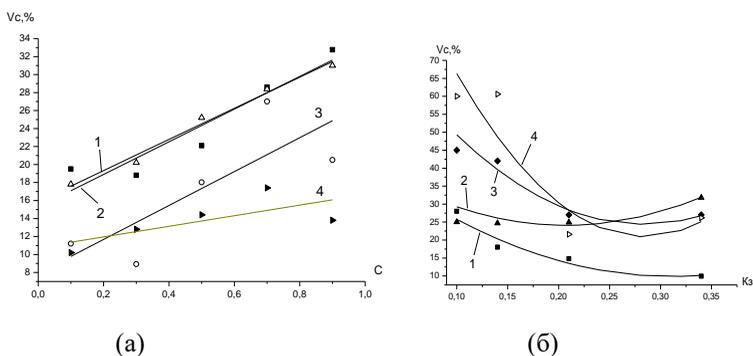


Рис. 1. Зависимость коэффициента неоднородности смеси (песок - манная крупа) от концентрации ключевого компонента (а) и от коэффициента загрузки при различных значениях концентрации (б) получаемой в одноступенчатом барабанно-лопастном смесителе

Ниже приведены линейные аппроксимации зависимостей коэффициента V_c смеси от концентрации ключевого компонента для различных значений L_p , где R – коэффициент корреляции.

$$L_p=0,01 \text{ м} - V_c=15,27-18,16c; R=0,943;$$

$$L_p=0,02 \text{ м} - V_c=15,87-17,3c; R=0,993;$$

$$L_p=0,06 \text{ м} - V_c=7,96-18,35c; R=0,8;$$

$$L_p=0,09 \text{ м} - V_c=10,77-5,9c; R=0,72.$$

Поскольку расстояние L_p определяет не только качество получаемой смеси, но и габариты смесителя, то полученные результаты могут быть использованы оптимальном проектировании.

Влияние коэффициента загрузки K_z на качество получаемой смеси показано на рис. 1, б). Здесь зависимости 1-4 получены при различных значениях концентрации c ключевого компонента (речного песка). Аппроксимации зависимостей коэффициента V_c от коэффициента загрузки K_z при различных значениях концентрации c , где R^2 – величина достоверности аппроксимации, а S_D стандартное отклонение.

$$1 - c=0,1 - V_c=44,42-222,1K_z+356,72 K_z^2; R^2=0,945; S_D=2,93.$$

$$2 - c=0,2 - V_c=43,28-184,9K_z+445,59K_z^2; R^2=0,916; S_D=1,8.$$

$$3 - c=0,3 - V_c=83,9-420,5K_z+742,62 K_z^2; R^2=0,973; S_D=3,05.$$

$$4 - c=0,5 - V_c=129,07-761,8K_z+1341,5K_z^2; R^2=0,831; S_D=15,05.$$

Эти зависимости свидетельствуют о существенном снижении качества смеси при уменьшении коэффициента загрузки смеси ниже 0.21-0.14. Это, по-видимому, связано как с уменьшением времени пребывания частиц в аппарате, так и со снижением циркуляции материала при малых K_z .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2618065. Российская Федерация. Смеситель сыпучих материалов. Оpubл. 02.05.2017. Бюл. № 13.
2. Пат.2385454. Российская Федерация. Способ определения качества компонентов, различающихся по цвету. Оpubл. 27.01.2010. Бюл. № 1.
3. Волков М.В. Метод расчета аппарата для приготовления смесей сыпучих материалов, склонных к сегрегации. Дисс. ... к. т. н. Ярославль: 2009. 153 с.

РАЗРАБОТКА ДЕЛИТЕЛЯ ВХОДНОГО ПОТОКА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ КАВИТАЦИИ В НАСОСНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Д.С. Долгин, И.С. Гуданов, А.Е. Лебедев

Научный руководитель – **А.Е. Лебедев**, д-р техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Разработка делителя входного потока для снижения негативного влияния явления кавитации в насосах, приводящей к разрушению его основных деталей, а также уменьшению шумов и вибраций, что позволит повысить срок службы и межремонтные периоды насосов.

***Ключевые слова:** кавитация, насосы, лопатки рабочих колёс, схлопывание пузырьков газа.*

DEVELOPMENT RESULT OF THE INPUT CURRENT DIVIDER FOR PUMP COMPONENT CAVITATION REDUCING

D.S. Dolgin, I.S. Gudanov, A.E. Lebedev

Scientific Supervisor – **A.E. Lebedev**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Development result of the input current divider to reduce the negative effects of pump components cavitation which leads to the destruction of its main parts, as well as noise and vibrations reducing, that will increase the service life and pump interrepair time.

***Keywords:** cavitation, pumps, impeller blades, collapse of gas bubbles.*

Насосы нашли широкое применение практически во всех отраслях современной промышленности: химическая промышленность (сырьевые насосы, технологические насосы и т.д.), нефтедобывающая промышленность (насосы нефтепроводов), энергетика (насосы ТЭЦ), автомобильный транспорт (насосы систем водяного охлаждения) и др.

Однако несмотря на конструктивную проработанность насосного оборудования, проблема кавитационного разрушения его деталей решена не окончательно.

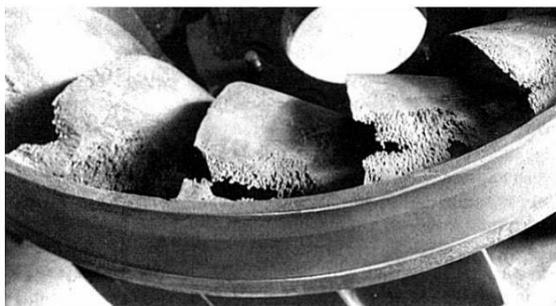


Рис. 1. Кавитационное разрушение лопаток рабочих колес насоса

На рис. 1 показан пример кавитационного износа лопастей центробежных насосов. Из данной фотографии следует, что разрушение иногда может носить катастрофический характер.

Наиболее подвержены кавитационному износу лопасти рабочих колес, процесс кавитации начинается в ее центральной части и перемещается к периферии.

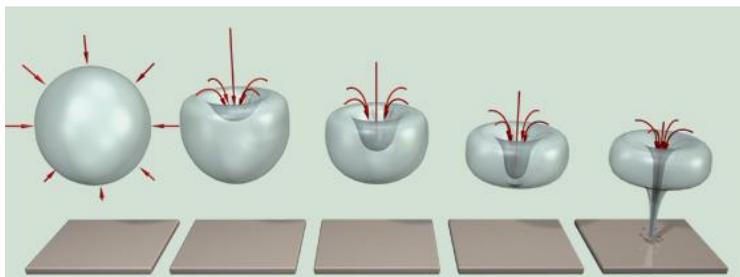


Рис. 2. Схлопывание пузырьков при кавитации

Кавитационное схлопывание пузырьков газа проиллюстрировано на рис. 2. Здесь видно как повышающееся давление сжимает пузырек и формируется направленная струя имеющая скорость до 2000 м/с, а в ее зоне давление может достигать 450 тыс. атмосфер.

С целью снижения кавитационного разрушения предлагается устанавливать на входе в насос делитель потока специальной формы, разбивающий входящий в насос поток на отдельные струи определенной формы и структуры. Это позволяет снизить, а в некоторых случаях сдвинуть в безопасную зону возникающий перепад давлений (место, где возникает

кавитация). Такое решение проблемы позволяет без изменения конструкции насоса (размещая на его входе предлагаемое в проекте устройство) повысить ресурс основных его деталей.

Для подтверждения эффективности предлагаемых в статье решений был проведен цикл исследований на компьютерных моделях.

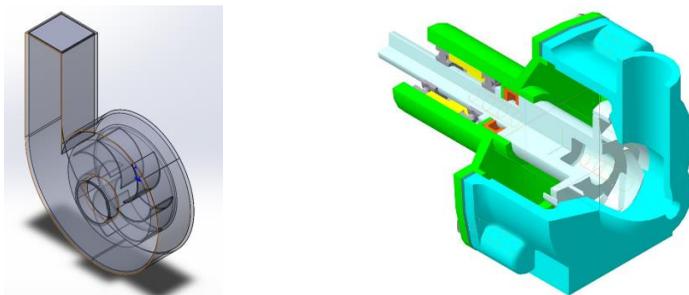


Рис. 3. 3д модель насоса центробежного типа

На рис. 3 показана 3д модель насоса центробежного типа, выполненная в программе Solidworks (flowsimulation).

Исследовалась гидродинамическая картина во внутренней полости.

Сначала было получено поле распределения давления в насосе без вставок (рис. 4).

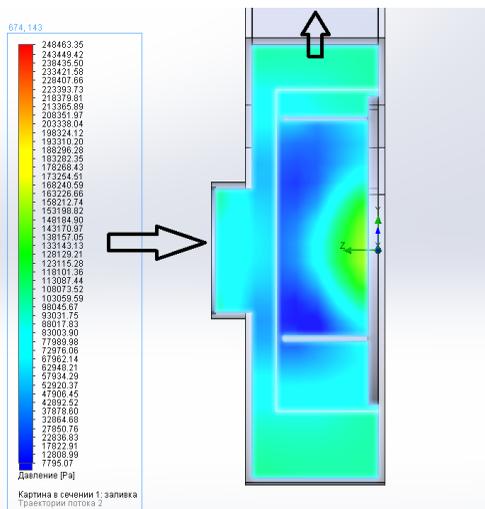


Рис. 4. Поле распределения давления в насосе без вставок

Здесь виден явно выраженный градиент давлений в центральной зоне колеса. Это место где будет интенсивное схлопывание газовых пузырей и кавитационное разрушение.

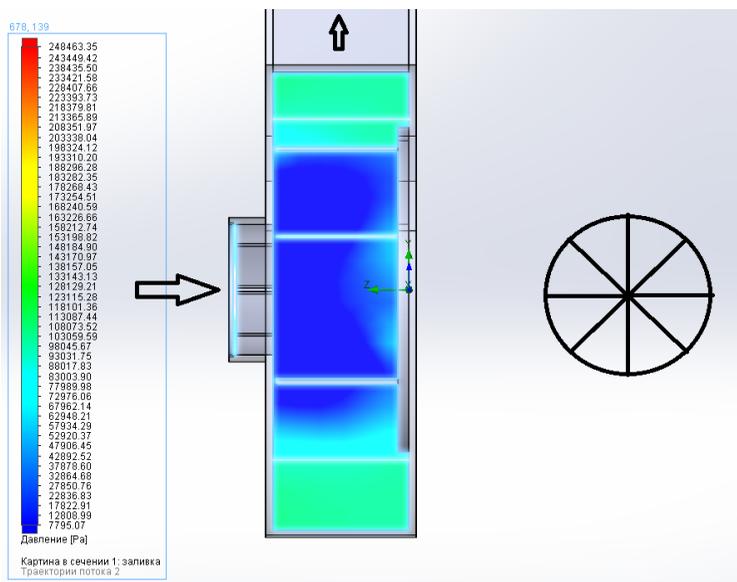


Рис. 5. Поле распределения давлений в насосе с вставкой

На рис. 5 приводится картина распределения давлений в насосе со вставкой. В этом случае перепад давлений на колесе становится более пологим и смещен в периферийную зону. Это практически предотвращает кавитацию, в том числе в зоне лопастей

Предлагаемое приспособление позволит практически не снижая гидравлического сопротивления насоса (на 2-3%) увеличить его ресурс на 40-50%, за счет снижения негативного воздействия кавитационного разрушения его деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Георгиевская Е.П.* Кавитационная эрозия гребных винтов и методы борьбы с ней / Е.П. Георгиевская. Л.: Судостроение, 1978. 208 с.
2. *Лем В.П.* Способы уменьшения и предотвращения кавитации в грунтовых насосах // Вестник ЖезУ. Жезказган, 2009. № 1(17). С. 59-64.
3. *Карелин В. Я.* Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. Москва: Машиностроение, 1975. 336 с.

ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ГОЛОВОК ДЛЯ СОЭКСТРУЗИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д.С. Долгин, И.С. Гуданов, А.Е. Лебедев

Научный руководитель – **А.Е. Лебедев**, д-р техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Получение многослойных тонких полимерных пленок путем соэкструзии при помощи формующих головок является актуальной задачей на сегодняшний день, так как многослойные пленки с различными физическими свойствами находят применение в различных отраслях промышленности.

***Ключевые слова:** соэкструзия, полимерные пленки, виды формующих головок.*

REVIEW OF MODERN CONDITION AND DEVELOPMENT TENDENCIES OF HEADS FOR CO-EXTRACTION OF POLYMERIC MATERIALS

D.S. Dolgin, I.S. Gudanov, A.E. Lebedev

Scientific Supervisor – **A.E. Lebedev**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Today the multilayer polymeric films production by co-extrusion using molding heads is an urgent task because these kinds of films with different physical properties are used in various industries.

***Keywords:** so-extrusion, polymer films, types of forming heads*

Полимерная пленка нашла применение в различных отраслях промышленности: в пищевой, строительной, сельскохозяйственной, автомобильной и других областях. В зависимости от назначения подбираются различные характеристики и типы данного материала.

Главным элементом экструдеров (машин для получения тонких пленок путем соэкструзии) является формующая головка. Рассмотрим, какие способы получения тонких пленок бывают.

Для получения пленки, экструзией с раздувом (от 3 до 30 слоев в один), применяются трубчатые соэкструзионные головки.

Один из видов таких головок – *многослойные спиральные головки* (рис. 1). Они представляют собой концентрические кольцевые каналы (один внутри другого) внутри круглой заготовки. Существенным недостатком таких головок является то, что геометрия определенного канала оптимальна только для одного полимера.

Другим видом для получения пленки экструзией с раздувом является *многотарельчатая листовая головка* (рис. 2). В этом виде головок каждый слой формируется и равномерно распределяется в своей тарелке. Затем тарелки накладываются друг на друга, а слои добавляются последовательно. Здесь количество и последовательность слоев у пленки можно регулировать путем изменения количества тарелок и меняя их места. Однако, чтобы закрепить тарелки между собой необходимо увеличивать их размеры, что приведет к увеличению длины каналов для подвода полимеров и перепадов температуры, что негативно скажется на термочувствительных полимерах.

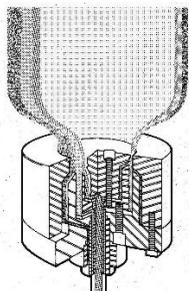


Рис. 1. Многослойная спиральная головка

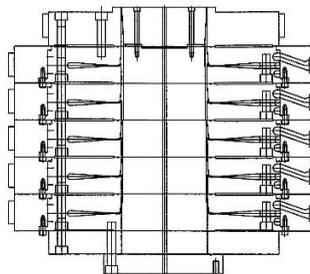


Рис. 2. Многотарельчатая листовая головка

Трубчатые соэкструзионные головки стоят дорого и сложны при разборке и чистки.

Щелевые и многощелевые головки используются для получения полимерных пленок толщиной более 250 мкм или для ламинирования других материалов, таких как картон, алюминиевая фольга, текстиль и др.

Данные виды головок рассматривать нет необходимости, так как получаемая в них пленка имеет большую толщину.

Для получения полимерных пленок также применяются мультиканальные головки. Для каждого слоя полимера в этой головке имеются индивидуальные каналы, выполненные отдельно друг от друга.

Формирование головки происходит путем комбинирования различных каналов. Толщина каждого слоя регулируется благодаря болтам, при помощи которых устанавливается ширина канала.

Применяются два вида комбинирования каналов: внешний и внутренний. При внешнем комбинировании применяется не более двух слоев пленки, так как две щели должны быть идеально отрегулированы. Подавляющее большинство мультиканальных головок является внутренними (рис. 3), поскольку лучшая адгезия между слоями полимеров достигается при более длительном тепловом контакте.

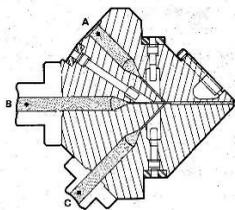


Рис. 3. Мультиканальная внутренняя головка

Основным преимуществом данных головок является то, что в них можно применять полимеры с очень разными вязкостями, так как каждый слой наносится независимо. Однако для получения пленки с заданной толщиной и большой шириной очень затруднительно и требует квалифицированной рабочей силы, так как в этом случае будет большое количество регулировочных болтов, что является существенным недостатком. Также часто слои составляют всего 1-2% от общей толщины пленки и следовательно процесс соэкструзии будет протекать с относительно низкой скоростью. А при большой ширине головки трудно получить однородную пленку при малой скорости экструзии.

Для получения полимерных пленок компания «The Dow Chemical Company» разработала и запатентовала головку с одноканальным питающим блоком.

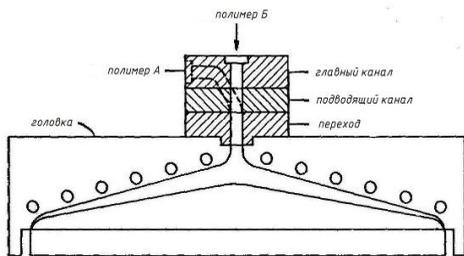


Рис. 4. Головка с одноканальным питающим блоком

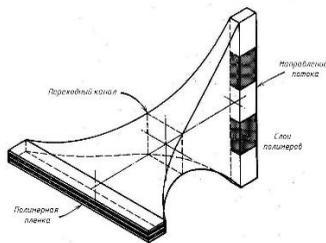


Рис. 5. Принцип соэкструзии в головках компании «The Dow Chemical Company»

Устройство такой головки и принцип распределения полимеров внутри головки представлен на рис. 5 и 6 соответственно.

К основным недостаткам такой конструкции относится то, что вязкость полимеров должна быть достаточно близка друг к другу, это необходимо для того, чтобы поток полимеров равномерно распределялся по сечению головки.

Полимеры с большим различием вязкости (100 и более) могут быть подвергнуты соэкструзии в головках с многоканальными питающими блоками.

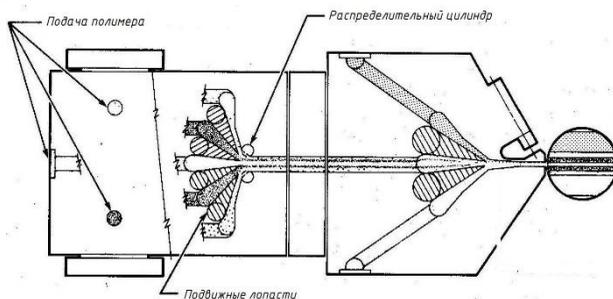


Рис. 6. Головка с многоканальным питающим блоком

Эта головка имеет подвижные лопасти, которые разделяют полимеры. Лопасты могут перемещаться для установления равновесия на основе скорости и вязкости потоков. В зоне смешения потоков устанавливаются распределительные цилиндры, позволяющие регулировать толщину пленки.

Таким образом, интерес для изучения представляет перенос положительного опыта регулирования толщины слоев в мультиплексных головках для выпуска профильных резиновых изделий на производство полимерных пленок, а также разработка новых способов межматериального регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dooley J.* Viscoelastic flow effects in multilayer polymer extrusion : Ph. D. Thesis / Dooley Joseph. Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2002. 134 p.
2. *Хан Ч.Д.* Реология в процессах переработки полимеров / Ч.Д. Хан. М.: Химия, 1979. 366 с.
3. *Юрыгин П.П.* Исследование стратифицированного течения резиновых смесей в дуплексных головках для выпуска заготовок кольцевого профиля: дис. ... канд. техн. наук; 05.17.08 / Юрыгин Павел Петрович. Ярославль, 2014. 164 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРУБОПРОВОДА КАТАЛИЗАТОРА УСТАНОВКИ КАТКРЕКИНГА НПЗ

Я.В. Якимов, А.В. Проворов

Научный руководитель – **А.В. Проворов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проводится численное исследование движения потока катализатора в трубопроводе. Даются рекомендации по снижению износа стенок трубопровода.

Ключевые слова: численное моделирование, трубопровод, каталитический крекинг, катализатор.

THE PIPELINE WORK CATALYST INSTALLATION CATRACKING REFINERY RESEARCH

Ya.V. Ekimov, A.V. Provorov

Scientific Supervisor – **A.V. Provorov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The movement of the catalyst flow in the pipeline numerical study is carried out. The recommendations how to reduce the wear of the pipeline walls are given

Keywords: numerical simulation, pipeline, catalytic cracking, catalyst.

При проведении реакции каталитического крекинга нефтепродуктов используется катализатор, который представляет собой мелкодисперсное порошкообразное вещество на основе алюмосиликатов. В процессе проведения реакции катализатор закоксуывается, что приводит к необходимости его восстановления или регенерации [1]. Катализатор перемещается от реактора к регенератору по стальному трубопроводу DN 1200 мм, футерованному изнутри.

Одна из проблем заключается в том, что частицы катализатора, движущиеся в потоке воздуха, вызывают эрозионный износ стенок трубопровода. Особенно интенсивный износ наблюдается в зонах изменения направления потока катализатора, в частности в отводах трубопровода.

На рис. 1 показана схема движения катализатора на переходном участке от прямой трубы к отводу.

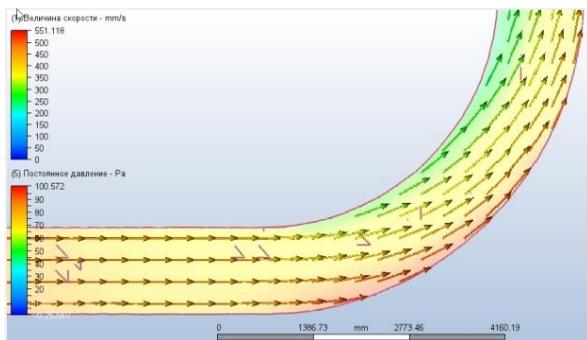


Рис. 1. Схема движения катализатора в отводе трубопровода

Частицы катализатора разгоняются на прямом участке трубопровода и вследствие действия сил инерции на криволинейном участке прижимаются к стенке по наружному радиусу отвода, где и возникает интенсивный износ. При этом в области наружного радиуса отвода давление потока возрастает, а на противоположной стороне отвода снижается (рис. 1).

Целью исследования являлось изучение движения потока катализатора в зоне отвода трубопровода и выдача рекомендаций по снижению эрозийного износа стенки трубопровода.

Известны и применяются на практике различные конструкции отводов. Так, существуют крутоизогнутые, сварные секционные, штамповочные и гнутые отводы. В трубопроводах катализатора широко применяются гнутые отводы [2], они имеют меньшее гидравлическое сопротивление и высокую надежность работы. Отводы выпускают с различным радиусомгиба, но не менее 2,5 ... 3,0 DN. Для исследования была выбрана именно эта конструкция отвода.

При исследовании использовались учебные версии САПР Autodesk Inventor- для трехмерного моделирования участков трубопровода и Autodesk CFD - для конечно-элементного анализа потока катализатора. Мелкодисперсный катализатор в смеси с воздухом, движущийся в трубопроводе и являющийся гетерогенной системой, был смоделирован в системе Autodesk CFD однородной несжимаемой жидкостью плотностью 0,45 г/см³, соответствующей плотности псевдооживленного катализатора, и вязкостью, равной вязкости воды. Это позволило в первом приближении

сравнить разные конструкции отводов трубопровода с точки зрения их эффективности работы.

Была построена модель участка трубопровода, включающая отвод внутренним диаметром $D = 1250$ мм и прилегающие участки длиной, равной величине диаметра. На рис. 2 даны обозначения конструктивных параметров и схема исследуемого участка трубопровода. Исследовалось влияние радиуса отвода R на распределение давлений по высоте сечения h и в разных сечениях по длине трубопровода. Положения сечений выбирались в соответствии с величиной угла α : -20° , 0° , 45° , 90° , 110° .

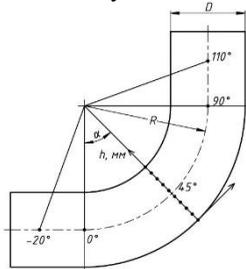


Рис. 2. Схема исследуемого участка трубопровода

На рис. 3 показано, что на входе и выходе из отвода давление по высоте сечения меняется незначительно, а в его средней части различие весьма существенно.

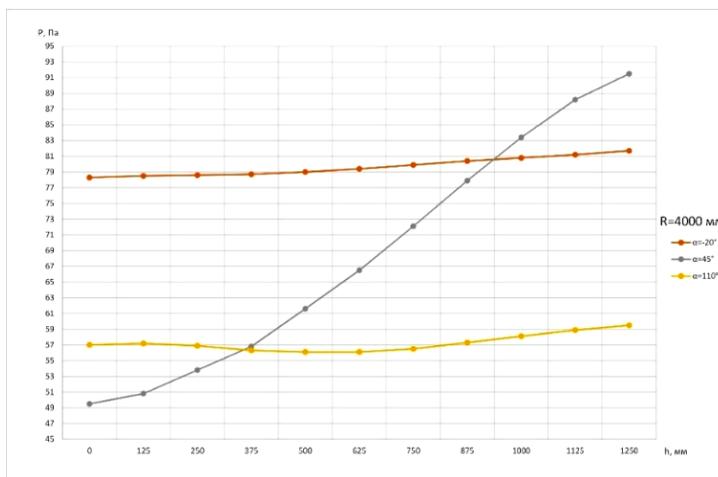


Рис. 3. Изменение давления по высоте сечения отвода

При радиусегиба отвода 4000 мм давление потока на наружную часть стенки отвода почти в два раза превышает давление на внутренней части отвода. Логично предположить, что эта разница (перепад) давлений связана с действием инерционных сил катализатора и износом стенки отвода: чем больше разность давлений, тем больше износ.

Исследовалось влияние радиусагиба отвода на перепад давлений по высоте сечения. Было получено, что при увеличении радиусагиба до 6000 мм перепад давлений резко снижается. При этом соотношение радиусагиба и диаметра отвода составит приблизительно 1 : 5.

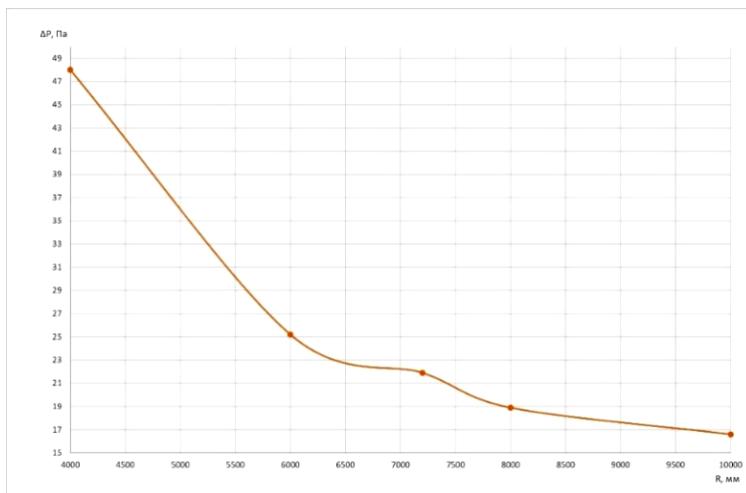


Рис. 4. Зависимость перепада давлений от радиусагиба

Полученное соотношение предварительно может быть рекомендовано для практического использования при проектировании трубопроводов. Необходимы дальнейшие исследования в этом направлении для других диаметров труб и скоростей течения материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимиров А.И.* Каталитический крекинг с кипящим (псевдоожигженным) слоем катализатора. Реакторно-регенераторный блок. М.: Нефть и газ, 1992. 47 с.
2. ГОСТ 24950-81. Отводы гнутые и вставки кривые на поворотах линейной части стальных магистральных трубопроводов. Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СТЕРЖНЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА ВОЗМОЖНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Н.В. Филиппов, А.М. Шапошников

Научный руководитель – **А.М. Шапошников**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается метод определения упругих перемещений стержневой системы, основанный на применении принципа возможных перемещений.

Ключевые слова: принцип возможных перемещений, фиктивная сила, перемещение

ESTIMATION OF ELASTIC DISPLACEMENT OF FRAMED STRUCTURE BY APPLYING THE VIRTUAL DISPLACEMENT PRINCIPLE

N.V. Filippov, A.M. Shaposhnikov

Scientific Supervisor – **A.M. Shaposhnikov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The method of estimation of the elastic displacements of the framed structure based on the application of the virtual displacement principle is considered.

Keywords: the virtual displacement principle, fictitious force, displacement.

Для определения малых перемещений твердого тела, прикрепленного упругими связями – стержнями, работающими на растяжение – сжатие, – воспользуемся принципом возможных перемещений, являющимся одним из основных постулатов теоретической механики. Согласно этому принципу равновесное состояние упругой системы характеризуется тем, что сумма работ всех внешних и внутренних сил на любых кинематически возможных перемещениях точек упругой системы равна нулю. Пере-

мещения твердого тела могут быть следствием либо малого изменения длин стержней, вызванного упругой деформацией под воздействием внешней нагрузки, либо температурным расширением при нагревании, либо отклонением реальных длин стержней от номинальных размеров. Требуется вычислить перемещение любой точки тела, если задана действующая на него нагрузка, известны изменения температуры каждого стержня ΔT_i^0 и отклонения длин стержней от номинальных размеров δ_{0i} :

$$\Delta_{Pk} = \sum_{i=1}^n \frac{R_{Pi} \bar{R}_i^1}{c_i} + \sum_{i=1}^n a_i l_i \Delta T_i^0 \bar{R}_i^1 + \sum_{i=1}^n \delta_{0i} \bar{R}_i^1. \quad (1)$$

Силы R_{Pi} представляют собой реакции стержней, вызываемые действием нагрузки, а \bar{R}_i^1 – реакция стержней от фиктивной силы $\bar{P} = 1$, приложенной в направлении искомого перемещения. Фиктивная сила производит на искомом перемещении работу со знаком плюс, если ее направление совпадает с направлением перемещения.

Задача: вычислить полное перемещение двухстержневого узла A , нагруженного силой P . Жесткость стержней равна $c_1 = 2c$, $c_2 = 3c$ (рис. 1, а).

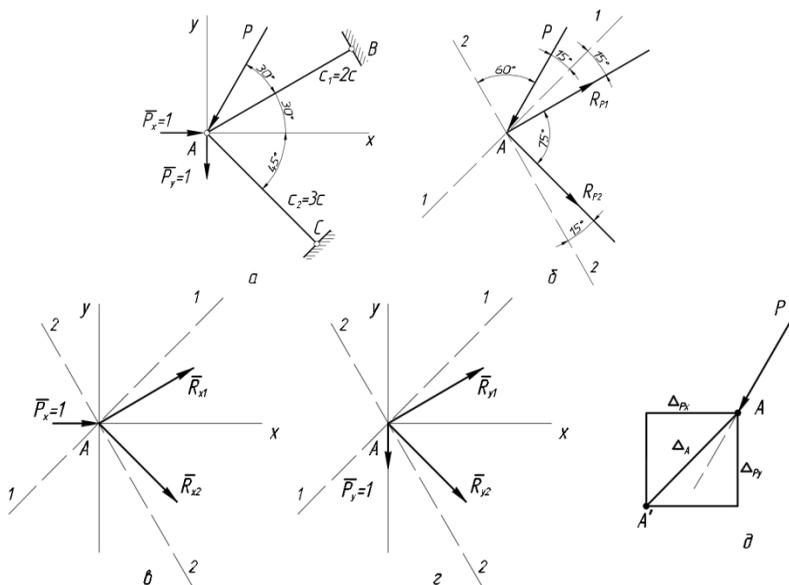


Рис. 1

В качестве возможных перемещений примем действительные перемещения узла A , возникающие вследствие удлинения стержней. Поскольку направление полного перемещения неизвестно, т.е. неизвестно, в каком направлении необходимо прикладывать фиктивную силу $\bar{P} = 1$, определим сначала проекции полного перемещения на какие-либо две произвольно выбранные оси, например, на оси x и y , изображенные на рис. 1, a . Для этого будем прикладывать поочередно фиктивную горизонтальную силу $\bar{P}_x = 1$ и фиктивную вертикальную силу $\bar{P}_y = 1$.

Вычислим реакции в стержнях узла A от действия заданной силы P . Составив проекции силы на оси $1 - 1$, перпендикулярную стержню AC , и $2 - 2$, перпендикулярную стержню AB , получим (рис.1, b)

$$\begin{aligned} R_{P1} \cos 15^\circ - P \cos 15^\circ &= 0; & R_{P1} &= P; \\ -R_{P2} \cos 15^\circ + P \cos 60^\circ &= 0; & R_{P2} &= -0,52P. \end{aligned}$$

Приложим к узлу A фиктивную силу $\bar{P}_x = 1$ и вычислим реакции стержней, используя уравнения проекций на те же оси $1 - 1$ и $2 - 2$. (рис.1, b)

$$\begin{aligned} \bar{R}_{x1} \cos 15^\circ + 1 \cdot \cos 45^\circ &= 0; & \bar{R}_{x1} &= -0,73; \\ \bar{R}_{x2} \cos 15^\circ + 1 \cdot \cos 60^\circ &= 0; & \bar{R}_{x2} &= -0,52. \end{aligned}$$

Горизонтальные перемещения вычисляем по (1) при $\Delta T_i^0 = 0$ и $\delta_{0i} = 0$:

$$\Delta_{Px} = \frac{P(-0,73)}{2c} + \frac{-0,52P(-0,52)}{3c} = -0,455 \frac{P}{c}.$$

Знак минус говорит о том, что перемещение направлено против силы $\bar{P}_x = 1$, т.е. влево, а не вправо, как это показано на рис.1, a .

Приложим к узлу A силу $\bar{P}_y = 1$ и вычислим соответствующие реакции (рис. 1, c):

$$\begin{aligned} \bar{R}_{y1} \cos 15^\circ + 1 \cdot \cos 45^\circ &= 0; & \bar{R}_{y1} &= 0,73; \\ \bar{R}_{y2} \cos 15^\circ + 1 \cdot \cos 30^\circ &= 0; & \bar{R}_{y2} &= -0,897. \end{aligned}$$

Вертикальное перемещение узла равно

$$\Delta_{Py} = \frac{P \cdot 0,73}{2c} + \frac{-0,52P(-0,897)}{3c} = 0,505 \frac{P}{c}.$$

Направление перемещения совпадает с направлением силы \bar{P}_y , показанным на рис. 1, a , т.е. узел смещается вниз.

Полное перемещение Δ_A определяем как геометрическую сумму отрезков Δ_{P_x} и Δ_{P_y} (рис. 1, б):

$$\Delta_A = \sqrt{\Delta_{P_x}^2 + \Delta_{P_y}^2} = \sqrt{(-0,455 P/C)^2 + (0,505 P/C)^2} = 0,68 \frac{P}{C}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вольмир А.С.* Сопротивление материалов: учебник для вузов / А.С. Вольмир, Ю.П. Григорьев, А.И. Станкевич. М.: Дрофа, 2007. 59 с.

УДК 539.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Д.А. Грачев, Н.В. Бадаева

Научный руководитель – **Н.В. Бадаева**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрены методы определения остаточных напряжений в материале.

***Ключевые слова:** остаточные напряжения, экспериментальные методы, механические методы, физические методы.*

EXPERIMENTAL METHODS OF DETERMINING RESIDUAL STRESSES

D.A. Grachev, N.V. Badaeva

Scientific Supervisor – **N.V. Badaeva**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Methods of determination of residual stresses in the material are considered.

***Keywords:** residual stresses, experimental methods, mechanical methods, physical methods.*

Остаточными называют напряжения, которые существуют в свободном от внешних нагрузок и воздействий теле. Образование остаточных напряжений связано с неоднородными объемными изменениями (деформациями материала по сечению детали), которые вызывают искажения кристаллической решетки. Такие напряжения являются следствием определенного технологического процесса производства деталей.

В зависимости от размера области, в которой возникают напряжения, различают остаточные напряжения первого, второго и третьего рода. Остаточные напряжения первого рода – микронапряжения. Эти напряжения уравниваются в границах областей, размеры которых соизмеримы с размерами тела. В плоскопараллельных слоях напряжения первого рода постоянны, они изменяются в направлении, перпендикулярном к поверхности. Напряжения второго рода, называемые микронапряжениями, занимают области, соизмеримые с объемом отдельных кристаллитов

или групп кристаллитов. Они существуют в плоскостях скольжения и среди блоков мозаичной структуры. Остаточные напряжения третьего рода изменяются в субмикроскопических областях. Они уравниваются в небольших группах атомов, лежащих на границах блоков мозаичной структуры в плоскостях скольжения.

В одних случаях остаточные напряжения настолько малы, что ими можно пренебречь, а в других случаях взаимодействие остаточных напряжений с внешними силами или температурой могут быть причиной техногенных аварий и разрушений, надежных на первый взгляд конструкций.

Существуют расчетные и экспериментальные методы для исследования остаточных напряжений, чаще применяют экспериментальные. Экспериментальные методы обычно разделяют на механические и физические.

Механические методы основаны на принципе упругой разгрузки объема металла при его освобождении от остаточных напряжений путем разрезки. Измеряя деформации, возникающие при разрезании, можно вычислить остаточные напряжения по формулам теории упругости. Физические методы основаны на изменении физических свойств материалов в зависимости от степени упругого деформирования под влиянием остаточных напряжений.

Ультразвуковой метод основывается на зависимости скорости распространения ультразвуковой волны от напряженного состояния. Это неразрушающий метод, что позволяет применять его при исследовании ответственных конструкций. Неоднородность механических свойств оказывает существенное влияние на скорость упругих волн, что ограничивает применение метода в сварных конструкциях.

Электромагнитный метод базируется на зависимости между магнитными свойствами металла и величиной действующих в данном объеме остаточных напряжений. Метод пригоден для измерения остаточных напряжений только в образцах из металлов и сплавов, обладающих магнитными свойствами. Наиболее целесообразно его применение для оперативного контроля (оценки) изменения остаточных напряжений.

Метод хрупких покрытий дает возможность наблюдать напряженное состояние в изделии. На поверхность исследуемого объекта наносят специальный лак, дающий после высыхания очень хрупкое покрытие, прочно соединенное с изделием. В процессе исследования фиксируется направление и длина трещин, расстояние между смежными трещинами. Чувствительность лака определяется предварительной тарировкой. Трещины в лаке возникают лишь в результате растягивающих напряжений, поэтому для исследования сжимающих напряжений изделие подвергает-

ся предварительному сжатию. Трещины возникают при разгрузке изделия. В местах появления первых трещин имеется наибольшее напряжение в поверхностном слое.

Метод твердости основан на изменении твердости под воздействием остаточных напряжений. Позволяет без разрушения детали определять сравнительное изменение величины остаточных напряжений в поверхностном слое материала. Можно оценить уровень и знак напряжений по разности твердостей исследуемого изделия и эталонного образца, в котором заведомо отсутствуют остаточные напряжения.

Рентгеновский метод основан на явлении дифракции рентгеновских лучей при прохождении через кристаллическую решетку. Преимуществом рентгеновского метода является то, что он позволяет достоверно оценить остаточные напряжения II и III рода в поверхностном слое детали без ее разрушения. Но при определении остаточных напряжений I рода точность метода невелика. Метод позволяет определять напряжения в деталях сложной геометрической формы, неограниченных размеров, исследовать напряжения на весьма малых участках поверхности образца, измерять градиенты напряжений, определять мгновенные напряжения в деталях, подвергающихся периодическим нагрузкам. Недостатками метода являются его пониженная точность при работе с сильнодеформируемыми и крупнозернистыми материалами, невозможность одновременного измерения в нескольких точках. Значительное влияние на результат может оказать состояние поверхностного слоя (влияние шлифовки, образование окалины,ковки, прокатки, коррозии).

Каждый из описанных выше методов имеет свои достоинства и недостатки. Наиболее достоверны механические методы. Однако они требуют «разрушения» или нарушения целостности конструкции. Кроме того, механические методы измеряют конкретные значения напряжений в конкретной области. Определение полей напряжений с различными величинами в зависимости от координаты требует проведение целого ряда измерений. Физические методы позволяют «визуализировать» поле напряжений. Они не требуют разрушения конструкции. Однако при их применении необходимы образцы - эталоны, сделанные из того же материала, но свободные от остаточных напряжений. Без них результаты измерений могут быть интерпретированы некорректно.

При исследовании остаточных напряжений эффективно комплексное использование различных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александров А.В.* Сопrotивление материалов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. М.: Высш. школа, 1995. 346 с.

О РАЗВИТИИ ТЕОРИИ ИЗГИБА

А.С. Кеворкян, Н.В. Бадаева

Научный руководитель – **Н.В. Бадаева**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается история развития теории изгиба.

Ключевые слова: изгиб, балка, расчет на прочность, напряжения, деформации.

ABOUT THE BENDING MOMENT THEORY EVOLUTION

A.S. Kevorkyan, N.V. Badaeva

Scientific Supervisor – **N.V. Badaeva**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The history of development of the theory of bending is considered.

Keywords: bending, beam, calculation for strength, stress, deformation.

Изгиб является наиболее распространенным способом деформации, а балка, стержень, работающий на изгиб, во многих конструкциях является основным элементом сооружений и машин, расчет которого – популярная инженерная задача.

Начало формированию теории изгиба ещё в XVII веке положил Галилео Галилей, поставив вопрос о прочности стержней и балок при изгибе. Галилей был первым, кто обосновал необходимость применения аналитических методов расчета взамен эмпирических правил, он же ввёл понятие напряжения.

Многие из рассуждений Галилея представляют собой наброски законов, которые были открыты намного позднее. Однако ему был неизвестен закон Гука, связывающий напряжения и деформации, в результате чего Галилей не мог дать правильного решения статически неопределимой задачи изгиба стержня.

Чтобы решить данную задачу, Галилей допустил, что в поперечном сечении эпюра напряжений будет иметь вид прямоугольника, что означает равномерное распределение внутренних сил в поперечном сечении изогнутой консольной балки. Галилей не учёл, что при изгибе стержня внутренние силы распределены неравномерно, так как часть волокон сжата, а часть – растянута. Дальнейшие его рассуждения базируются на том, что принятое им распределение напряжений будет сохраняться до разрушения. Из условия равновесия в момент разрушения освобожденной от заделки балки Галилей определил разрушающую нагрузку.

В 1660 году Робертом Гуком был сформирован закон, связывающий деформации и приложенную силу – закон Гука. Спустя 20 лет, в 1680 г., французский физик и механик Эдм Мариотт независимо от Гука открыл закон прямой пропорциональности удлинений растянутого образца от приложенной силы и распространил его на случай изгиба. Однако это ему удалось не сразу. Сначала Мариотт, как и Галилей, предполагал, что все волокна балки растянуты. Однако он считал, что эпюра напряжений в поперечном сечении является треугольником, закон изменения внутренних сил в поперечном сечении линейный, и нейтральная линия проходит через нижние точки поперечного сечения.

Такую же треугольную эпюру напряжений принимали Г.Лейбниц и П.Вариньон.

В дальнейшем Эдм Мариотт исправил ошибку Галилея, приняв другой закон распределения напряжений при изгибе, и поместил нулевую точку в середине высоты сечения, признав тем самым наличие сжатых волокон. Однако он допустил ошибку и посчитал, что на момент сопротивления балки это влияния не оказывает: при подсчете разрушающей силы он умножил на плечо не величину указанных сил, а удвоенную величину, в результате чего по-прежнему пришел к полученному им ранее соотношению.

В 1702 году Пьер Вариньон получил формулы Галилея и Мариотта как частные случаи своей теории, поместив при этом нейтральную линию также на вогнутой стороне балки.

В следующем году швейцарский математик Я. Бернулли поставил задачу о вычислении прогибов. Он применил к исследованию упругой линии изогнутой полосы (он называл брус полосой) исчисление бесконечно малых и получил уравнение изгиба стержня. В 1705 году Яков Бернулли учёл наличие сжатых волокон на вогнутой стороне, однако повторил ошибку Мариотта, с работами которого не был знаком. На основании своего ошибочного расчета он вывел неверную теорему о том, что положение нейтральной линии не оказывает никакого влияния на сопро-

тивление изгибу, чем, благодаря своему колоссальному авторитету, задержал развитие учения об изгибе на целое столетие.

Первое правильное решение задачи о прочности балки при изгибе было дано французским военным инженером Антуаном Параном в 1713 году. В первой работе он обратил внимание на то, что результат, полученный Мариоттом, справедлив только для балок прямоугольного поперечного сечения. Во второй работе Паран принял второй вариант эпюры Мариотта в виде двух треугольников и получил правильное выражение для моментов сопротивления изгибу.

Однако работы Парана остались незамеченными современниками. Исследование Парана повторил в 1729 году петербургский академик Георг Бернгард Бюльфингер, но и его работа тоже осталась незамеченной. Только в 1773 году Шарль Кулон, незнакомый с работами Парана, повторил решение задачи об изгибе балки, но заблуждения ещё долго продолжали повторяться.

Наконец, в 1824 году Анри Навье дал правильное решение задачи об изгибе балки произвольного поперечного сечения и опубликовал его в 1826 году. Таким образом, решение данной задачи заняло 188 лет, если считать от первой работы Галилея.

В 1855 году Дмитрием Ивановичем Журавским было дано приближенное решение задачи определения касательных напряжений при поперечном изгибе балок.

Решение задач чистого и поперечного изгиба стержня методами теории упругости дано Барре де Сен-Венаном в 1856 г. Он показал, что напряженное состояние всех точек стержня одноосное, то есть при чистом изгибе стержня поперечные сечения его остаются плоскими, а продольные волокна балки не взаимодействуют друг с другом. Для этой же задачи Сен-Венан указал на распределение касательных напряжений для различных поперечных сечений, удовлетворяющее всем уравнениям теории упругости. Сен-Венан высоко оценил исследования Журавского, доказательство этому – хорошее согласование результатов точного (Сен-Венана) и приближенного (Журавского) решений для прямоугольного поперечного сечения.

Спустя четыре года Сен-Венаном были получены условия совместности деформаций. Он также ввел принцип, в соответствии с которым уравновешенная система сил, приложенная к некоторой части твёрдого тела, вызывает в нём появление неравномерности распределения напряжений, которая быстро уменьшается по мере удаления от этой части, – принцип Сен-Венана.

Таким образом, Сен-Венаном методами теории упругости была решена одна из важнейших задач механики – изгиб стержня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боголюбов А.Н.* Математики и механики. Киев: Наукова думка, 1983. 639 с.
2. *Григолюк Э.И.* С.П. Тимошенко и его работы в области устойчивости деформируемых систем // С. П. Тимошенко. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. М.: Наука, 1971. С. 731-800.
3. *Космодемьянский А.А.* Очерки по истории механики. М.: Наука, 1982. 294 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

Ю.А. Котов, Н.В. Бадаева

Научный руководитель – **Н.В. Бадаева**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается влияние различных температур на прочность бетона.

Ключевые слова: прочность бетона, температура.

THE ACTION OF TEMPERATURE ON THE CONCRETE STRENGTH

Yu.A. Kotov, N.V. Badaeva

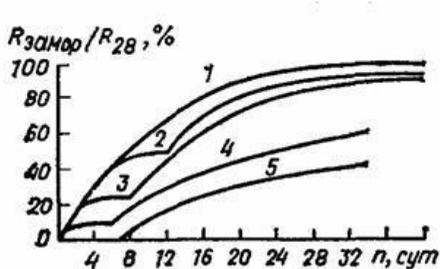
Scientific Supervisor – **N.V. Badaeva**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The different temperatures action on the concrete strength is considered.

Keywords: concrete strength, temperature

Бетон – строительный материал, полученный в результате смешивания в определенных пропорциях вяжущего вещества (цемента), воды, крупных и мелких заполнителей. Вяжущее вещество и вода являются активными составляющими и участвуют в химической реакции – гидратации, а мелкие и крупные заполнители играют роль жесткого скелета бетона, уменьшая его просадку. Нормальной температурой среды для твердения бетона считается 15-20 °С. При пониженной температуре прочность нарастает медленнее, и бетон дольше достигает максимальной прочности (табл. 1). Если поместить только что замешанный бетон в среду с температурой ниже 0 °С, то он заметно теряет свою прочность после оттаивания. Чем раньше поместить бетон в среду с отрицательной температурой, тем меньше его прочность (рис. 1).



- 1 - бетон незамороженный;
- 2 - бетон, замороженный в возрасте 7 сут;
- 3 - То же, 1 сут;
- 4 - То же, 1 сут;
- 5 - То же, 6 часов

Рис. 1. Зависимость относительной прочности бетона от возраста бетона в момент замораживания

Таблица 1. Относительная прочность бетона в разные сроки твердения при различных температурах

Сроки твердения бетона, сут	Средняя температура твердения, °С				
	5	10	15	25	35
	Относительная прочность бетона (за единицу принята прочность 28-дневного бетона, твердеющего при 15 °С)				
3	0.15	0.2	0.3	0.37	0.45
5	0.25	0.32	0.45	0.54	0.6
7	0.35	0.44	0.6	0.7	0.72
10	0.45	0.52	0.7	0.77	0.77
15	0.55	0.65	0.8	0.85	0.85
28	0.8	0.92	1	1.05	-

Свежий бетон насыщен водой, которая в результате замерзания расширяется и разрывает большинство связей между цементным камнем и заполнителями, поэтому необходимо дать бетону достичь минимальной прочности, чтобы противостоять давлению льда (табл. 2).

Таблица 2. Минимальная прочность бетона к моменту его замерзания

Марка бетона	Минимальная прочность, не менее		Примерное время выдерживания бетона на портландцементе при 15-20 °С, сут
	% от R	МПа	
M100	60	5	5-7
M200	40	7	3-5
M300	35	10	2-2.5
M400	30	12	1.5-2
M500	25	12.5	1-2

В железобетоне при пониженной температуре также теряется сцепление между стальной арматурой и бетоном, что в результате снижает его прочность. Для предотвращения замерзания бетона применяют специальные меры.

Нормальной температурой среды для твердения бетона считается 15-20 °С и чем выше температура, тем выше прочность (рис. 2).

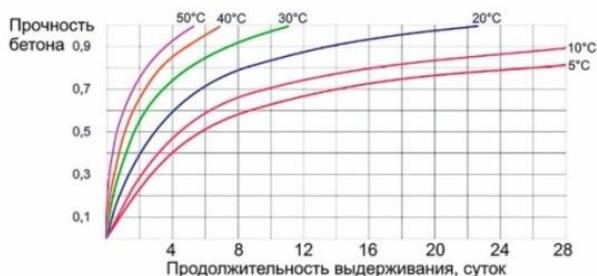


Рис. 2. Зависимость прочности бетона от продолжительности выдерживания

При повышенных температурах бетон твердеет быстрее, чем при нормальных условиях влажной среды (рис. 2). При высоких температурах бетон трудно предохранить от быстрого высыхания, нагревать его выше 80 °С нельзя. Если температура выше допустимой, то начинается интенсивное испарение воды, в результате чего образуется большое количество незаполненных пор, снижается плотность бетона и как следствие резко ухудшаются его прочностные показатели. Бетон, который изготовили при оптимальной температуре 4,4 °С, в течение месяца хранили при низкой температуре (-3,9 °С), а затем при температуре 23,9 °С на протяжении трех месяцев является более прочным, чем такой же бетон, хранившийся при неизменной температуре 23,9 °С. В тропических странах прочность бетона снижается. Экспериментальные исследования показали, что в жарких и сухих условиях, например в пустыне, при 30 °С, прочность бетона уменьшается до критических значений. Поэтому в странах с жарким климатом используют некоторые приемы для увеличения прочности бетона. Накрывают бетон защитными пленками для предотвращения быстрого испарения влаги, используют быстротвердеющий цемент, марка которого в 1,5-2 раза превышает рекомендованную, добавляют в готовый раствор пластифицирующие добавки или вещества,

замедляющие процесс твердения, работают в утреннее, вечернее и ночное время, когда температура воздуха не поднимается выше + 20 С.

Воздействия высоких температур на готовые изделия из бетона, также оказывает негативное влияние, прочность бетона снижается. Это заметно уже при нагреве до 200-300 °С, свыше 300 °С происходят изменения, приобретающие необратимый характер. Прочность уменьшается в 2 раза при нагреве до 400 °С и в 3 раза – до 500 °С. Увеличение деформативности и уменьшение модуля упругости бетона, также являются последствием воздействия высоких температур. Таким образом, при высокой температуре прочность бетона на растяжение значительно понижается и при 600 °С, а может быть даже между 450 и 600 °С фактически сводится к нулю.

Строительные нормы требуют от огнестойких конструкций сопротивления температуре в 1000 °С в течение 3 час. Бетон не в состоянии выдержать таких температур, так как при высоких температурах цементный раствор теряет гидратную воду, вяжущая сила цемента уничтожается и бетон распадается вследствие разных коэффициентов линейного расширения отдельных камневидных составляющих. Поэтому, если необходим бетон в критически жарких условиях, то используется специальный жаростойкий бетон со специальными добавками или другие специальные мероприятия. Обычный же бетон начинает плавиться при температуре около 1200 °С, также чаще всего по цвету бетона в горящем сооружении определяют температуру пламени пожара, например, при 300 °С камень приобретает розоватый цвет, при 400-600 °С красный, а при более высоких бледно-серый. Разрушение бетона при горении носит, как правило, спокойный характер. Коэффициент расширения входящих в него наполнителей находится в широком диапазоне, вследствие чего сцепление щебня или гравия с цементным порошком разрушается постепенно, начиная с отметки в +300 °С. Если нагрев продолжается, в структуре монолита возникают трещины, которые постепенно расширяются вплоть до потери конструкцией целостности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горчаков Г.И. Строительные материалы: Учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1986. 688 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРРОАБРАЗИВНОГО ПОРОШКА НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ВАНАДИЯ

Е.А. Ковалевский, Л.Е. Сергеев, Е.В. Сенчуров

Научные руководители – **Л.Е. Сергеев**, канд. техн. наук, доцент; **Е.В. Сенчуров**, начальник отдела внедрения научно-технических разработок

Белорусский государственный аграрный технический университет

Предложен новый вид ферроабразивного порошка на основе оксида ванадия, полученный методом литья и распыления, определены режимы магнитно-абразивной обработки для достижения высокой производительности.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, ферроабразивный порошок.

EFFICIENCY UPGRADING OF MAGNETIC ABRASIVE PROCESSING UTILYSINF FERRO-ABRASIVE POWDER BASED ON VANADIUM OXIDE

E.A. Kovalevsky, L.E. Sergeev, E.V. Senchurov

Scientific Supervisors – **L.E. Sergeev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; **E.V. Senchurov**, Head of the Department of the introduction of scientific and technical developments

Belarusian State Agrarian Technical University

A new type of ferro-abrasive powder based on vanadium oxide, obtained by the method of casting and spraying is proposed, magnetic-abrasive machining modes are defined to achieve high productivity.

Keywords: magnetic abrasive treatment, ferro-abrasive powder.

Гидроцилиндры широко применяют в гидросистемах как источники привода рабочих органов мобильных машин и исполнительных меха-

низмов промышленного оборудования. В гидросистеме с одним, реже – с двумя насосами может быть установлено до 6...10 гидроцилиндров, а в некоторых случаях в два или даже в три раза больше. По функциональным признакам гидроцилиндры – это объемные гидродвигатели, предназначенные для преобразования энергии потока рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена с возвратно-поступательным движением. Причем подвижным звеном может выступать как шток, так и корпус (гильза) гидроцилиндра.

Без специального технологического оборудования для чистовой расточки и раскатки внутренней поверхности гильз, шлифования и полирования штоков, обеспечивающего параметры шероховатости по ГОСТ 2789–73 рабочих уплотняемых поверхностей штоков и гильз гидроцилиндров, а также хромирования наружной поверхности штоков путем электролитического нанесения пленки толщиной 20...30 мкм невозможно изготовить коррозионно- и износостойкие штоки. Высота неровностей наружной рабочей поверхности штока после хромирования и полирования должна соответствовать быть не более Ra 0,160 мкм, рабочей поверхности гильзы гидроцилиндра – Ra 0,320 мкм по ГОСТ 2789–73.

В условиях крупносерийного и массового производства получение наружных цилиндрических поверхностей с шероховатостью Ra 0,4...0,1 мкм обеспечивается на станках для суперфинишированием. Однако относительно низкая производительность и высокая стоимость абразивного инструмента, в том числе и алмазного, являются недостатками процесса суперфиниширования и ограничивает его применение.

В условиях серийного и индивидуального производства наибольшее распространение получила машинно-ручная и ручная доводка и полировка при помощи наждачной бумаги типа Л1 Э620×50П215А25-НМА ГОСТ 6456-82 622 или войлочных кругов с различными пастами. Эти технологические процессы не обеспечивают достаточно высокой производительности и стабильности шероховатости обрабатываемой поверхности и, кроме того, не поддаются автоматизации. Это приводит к необходимости поиска новых методов финишной обработки штоков гидроцилиндров и их использования для обработки как хромированных поверхностей, так и поверхностей под хромирование.

Одним из новых методов финишной обработки деталей машин является магнитно-абразивная обработка (МАО) [1, 2]. Метод позволяет получать на закаленных цилиндрических наружных поверхностях шероховатость Ra 0,05...0,63 мкм с высокой производительностью. Контур режущего инструмента (ферроабразивная щетка) в зазоре между обрабатываемой поверхностью и полюсным наконечником электромагнита формируется из ферроабразивного порошка (ФАП) силами магнитного

поля при наличии смазочно-охлаждающего технологического средства (СОТС). Поскольку ФАП находится в подвижно скоординированном состоянии, это позволяет управлять жесткостью режущего инструмента, путем регулирования величиной магнитной индукции. Установлено, что на качество обработанной поверхности существенное влияние оказывает форма частиц ФАП, материал и состояние режущих кромок порошка.

Такую геометрическую форму частицам ФАП можно придать с помощью технологии литья и присутствием в составе ФАП вязких компонентов, например, ванадия, который является пластичным металлом. При введении ванадия повышаются прочность, вязкость и износостойчивость стали. Однако необходимо учитывать соотношение компонентов, входящих в состав ФАП. Поскольку композиционные ФАП имеют сложную структуру (ферромагнитная матрица и твердый абразивонесущий поверхностный слой), то от его химического состава зависят технологические, эксплуатационные свойства порошка. Так, например, при добавлении в наплавочный порошок феррованадия установлено [3], что максимальная абразивная износостойкость ФАП обеспечивается введением в наплавочный порошок до 10% масс феррованадия, а увеличение массовой доли более 10% снижает качество ФАП по параметрам фазового состава и напряженно деформированного состояния покрытий. На основании проведенного анализа разработаны составы ФАП с содержанием ванадия 4, 6, 8 % (таблица), которые изготовлены по технологии (рис.): в индукционной сталеплавильной печи выплавляется сплав железа, углерода, ванадия. Струя расплава диспергируется водой высокого давления, и на поверхности частиц образуется пленка оксидов ванадия. Установка представляет собой индукционную сталеплавильную печь (емкость 160 кг) с кислой футеровкой и используется для выплавки отходов малоуглеродистой стали, графита и феррованадия. Контроль температуры производится оптическим пирометром. Подготовленный к распылению расплав переливали в предварительно нагретый футерованный шамотными изделиями металлоприемник, в котором имеются отверстия 8-10 мм, через которые расплав поступает в зону распыления. Грануляция струи расплава производится водой, которая из водяного насоса ($p = 80$ атм) поступает в форсунку. В результате грануляции образуется порошок, который накапливается в его сборнике.

Состав ФАП

Компоненты ФАП	Массовая доля компонентов, %		
	Углерод	0,75	0,75
Ванадий	4	6	8
Железо	остальное		

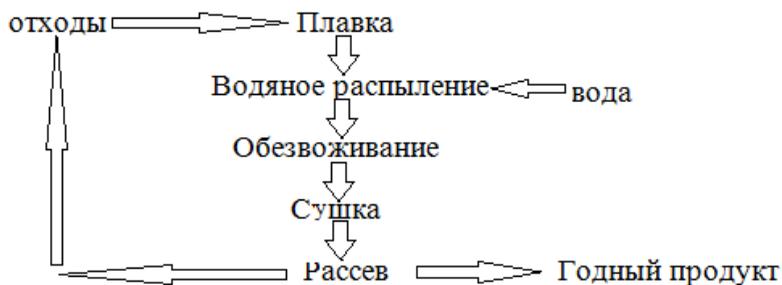


Схема производства ФАП

С целью оптимизации режимов МАО с использованием ФАП с добавками ванадия выполнено экспериментальное исследование зависимости производительности МАО G , мг/мин от режимов обработки и содержания ванадия в абразивном порошке. В результате проведенных исследований разработан ФАП для МАО на основе оксидов ванадия и по результатам оптимизации можно заключить, что для достижения максимальной производительности $G = 17,1 \pm 0,7$ мг/мин необходимо обеспечить следующие режимы МАО: $v_p = 0,99$ м/с, $v_{осц} = 0,09$ м/с, $B = 1$ Тл, при содержании ванадия в ФАПV = 4%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожуро Л.М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л.М. Кожуро, Б.П. Чемисов; под ред. Н.Н. Подлекарева. Минск: Наука и техника, 1995.
2. Беляев А.А. и др. Влияние струйно-абразивной и магнитно-абразивной обработок на состояние рабочих поверхностей и режущих кромок сверл из быстрорежущей стали // Вестник двигателестроения. 2007. № 2. С. 90-94.
3. Иванова Е.А. Структура и свойства износостойких электроннолучевых покрытий на основе азотистых твердых растворов: автореф. дис...канд. техн. наук / Е.А. Иванова; Томский политехнический университет. Томск, 2009.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ И ПОДБОР СЕЧЕНИЯ БАЛОК

В.Р. Кузьмичев, А.М. Шапошников

Научный руководитель – **А.М. Шапошников**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Определение размеров сечений балок из условий прочности. Рассматриваются основные методы проверки прочности балок и подбора сечений нестандартной формы

Ключевые слова: прочность, сечение, балка.

BEAMS STRENGTH AND DIMENSIONING TEST

V.R. Kuzmichev, A.M. Shaposhnikov

Scientific Supervisor – **A.M. Shaposhnikov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The beams dimensions by strength condition is estimated. The main methods of checking the beams strength and non-standard shape dimensioning are considered.

Keywords: strength, cross-section, beam.

Балками называются конструкции сплошного сечения, длина которых значительно превышает размеры сечения. Балки работают на изгиб. Их применяют в конструкциях зданий, мостах, эстакадах и др. Наиболее рациональным является принимать сплошные балки при пролетах до 20 м.

Балка в целом должна быть проверена по жесткости и общей устойчивости; характерные сечения балки - по прочности; элементы балки - по местной устойчивости.

Известный факт, что нормальные напряжения при изгибе балок оказывают значительно большее влияние, чем касательные, поэтому про-

верка прочности балок и определение размеров сечения ведутся по нормальным напряжениям.

Наибольшие нормальные напряжения в опасном сечении балки не должны превышать допускаемого напряжения $[\sigma]$. Из этого следует условие прочности

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{I_z} y_{\max} \leq [\sigma]. \quad (1)$$

Отношение $W_z = I_z / y_{\max}$ принято называть *моментом сопротивления изгибу* и записывать условие прочности в виде

$$\frac{M_{\max}}{W_z} \leq [\sigma] \quad (2)$$

У балки переменного сечения опасным может оказаться не то сечение, в котором действует наибольший изгибающий момент, а сечение с малым моментом сопротивления. Проверая прочность этого сечения, подставляя в формулу выше значение изгибающего момента, действующего в данном сечении. Условие (1) позволяет проверить, достаточно ли прочна балка с заданными размерами сечения, если известны нагрузка и допускаемая напряжение для материала.

Возможно также использовать условия прочности (1), чтобы определить потребный момент сопротивления W_z , по которому можно подобрать размеры сечения, если задана его форма:

$$W_{\text{норм}} \geq \frac{M}{[\sigma]}.$$

В общем случае, когда центр тяжести площади сечения не лежит посередине его высоты, расстояние y_{\max} до наиболее растянутых и наиболее сжатых слоев балки будут различны. Кроме того, допускаемые напряжения на растяжение и на сжатие также могут оказаться разными. Тогда условие (1) или (2) придется применять дважды, проверяя прочность и сжатых и растянутых слоев. Таким образом, при подборе сечения имеем два значения момента сопротивления:

$$W_1 \geq \frac{M}{[\sigma]_{\text{сж}}}, \quad W_2 \geq \frac{M}{[\sigma]_{\text{р}}}.$$

Для балки выбираются наибольшие размеры сечения, получаемые значения W_1 и W_2 .

Особенно простым оказывается подбор стандартных профилей, моменты сопротивления которых указаны в таблице сортамента. Вычислим моменты сопротивления для некоторых сечений.

Момент сопротивления прямоугольной балки шириной $b=5ab$ высотой $h=8a$, определяющий ее прочность, равен

$$W_1 = \frac{bh^2}{6} = \frac{5a \cdot 64a^2}{6} = \frac{160}{3} a^3.$$

Вес балки пропорционален площади сечения: $F_1=40a^2$. Вырежем из прямоугольника часть площади около нейтрального слоя так, чтобы образовалось сечение в виде двутавра или коробчатое сечение. В обоих случаях оставшаяся площадь сечения, заштрихованная на рис. 1, одинакова. Она равна $F_2=16a^2$.

Полученное таким способом облегчение балки определяется отношением $\frac{F_1}{F_2} = \frac{40a^2}{16a^2} = 2,5$.

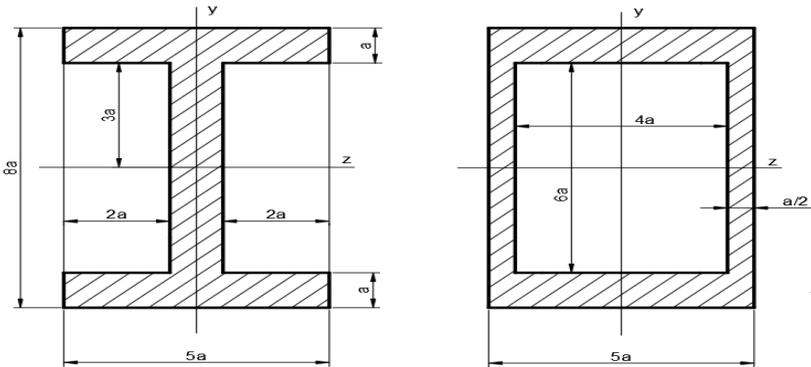


Рис. 1

Оценим потери прочности балки в результате выреза. Для обоих типов сечения, полученных после облегчения, моменты сопротивления изгибу одинаковы:

$$W_2 = \frac{I_2}{y_{\max}} = \left(\frac{5a(8a)^3}{12} - \frac{4a(6a)^3}{12} \right) \frac{1}{4a} = \frac{106}{3} a^3.$$

Отношение моментов сопротивления сплошного сечения и сечения с вырезом составляет

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{160}{3} a^3 \right) : \left(\frac{106}{3} a^3 \right) = 1,5.$$

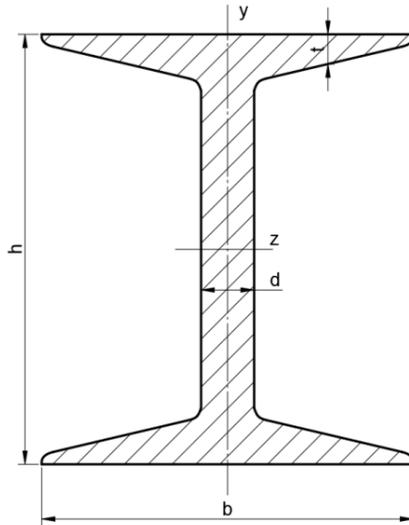


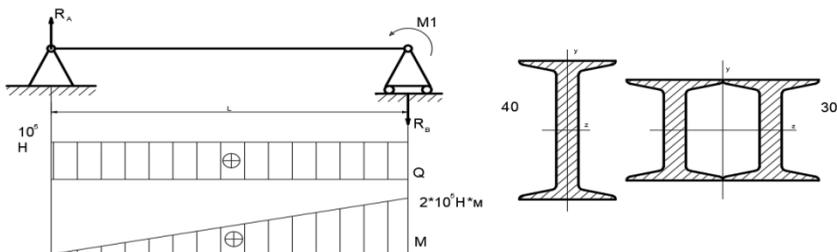
Рис. 2

Прямоугольные сечения после выреза становятся легче в 2,5 раза, а прочность уменьшается всего в 1,5 раза. Однако можно добиться выигрыша в прочности, и в весе, если часть вырезанной площади использовать на увеличение высоты сечения.

Изменяя форму профиля за счет удаления материала от нейтральной линии, можно создать сечения, весьма выгодные в весовом отношении, одновременно добиваясь и повышения прочности балки при меньшем расходе материала. Конечно, на этом пути имеются свои трудности. Увеличение с высоты сечения ограничено габаритами конструкции, в составе которой должна работать проектируемая балка. Кроме того, чрезмерное увеличение момента инерции относительно одной оси при неизменном или даже уменьшающемся моменте инерции относительно другой оси приводит к неустойчивости балки в боковом направлении. Утоньшение стенок фигурного сечения также ограничено условиями их устойчивости и технологическими условиями изготовления балки.

Рассмотрим особенности подбора сечений балок из стандартных профилей с помощью следующего примера.

Балка на двух опорах длиной $L=2$ м нагружена на правом конце сосредоточенным моментом $M_1=2 \cdot 10^5$ Н*м. Подобрать по допускаемому напряжению $[\sigma]=200$ МПа размеры стандартного двутавра. Рассмотреть возможность замены одного двутавра двумя профилями меньшей высоты.



Находим реакции опор балки $R_A = -R_B = 10^5$ Н и строим эпюры Q и M . Расчетный момент в опасном сечении на правом конце балки $M_{\max} = 2 \cdot 10^5$ Н*м. Вычисляем требуемый момент сопротивления сечения по условию прочности:

$$W_z \geq \frac{2 \cdot 10^5}{200 \cdot 10^6} = 0,001 \text{ м}^3 = 1000 \text{ см}^3$$

Ближайшее значение W_z по сортаменту равно 1220 см^3 , соответствующее двутавру N⁰45 (высота 45 см).

Это сечение дает излишний запас прочности в 22%. Ближайшее меньшее сечение – двутавр N⁰40, у которого $W_z = 947 \text{ см}^3$. В этом случае имеет место уменьшение запаса прочности на 5,3%, зато выигрыш в весе составляет 16%, так как вес одного погонного метра двутавра N⁰45 равен 652 Н, а вес погонного метра двутавра N⁰40 равен 561 Н. Обычно при проведении инженерных расчетов допускается отклонения получаемых характеристик в пределах $\pm 5\%$. Поэтому останавливаем выбор на двутавре N⁰40, дающему экономию в весе.

При необходимости уменьшить высоту балки приходится заменять ее двумя меньшими балками, которые устанавливаются параллельно друг другу. В рассматриваемом примере балку N⁰40 можно заменить двумя балками N⁰30, суммарный момент сопротивления которых близок к моменту сопротивления выбранной ранее балки. Однако это дает большой проигрыш в весе и усложняет конструкцию, поскольку для обеспечения совместной работы балок необходимо их необходимо соединить специальными накладками.

Для подбора сечений нестандартной формы все размеры сечения выражающиеся через один параметр. Потребная величина параметра, а следовательно, все размеры сечения определяются из условия прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольмир А.С. Сопротивление материалов: учебник для вузов / А.С. Вольмир, Ю.П. Григорьев, А.И. Станкевич. М.: Дрофа, 2007. 591 с.

РАЗРАБОТКА АППАРАТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

П.В. Кузьминов, А.Е. Лебедев

Научный руководитель – **А.Е. Лебедев**, д-р техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проведен анализ существующих аппаратов для очистки газов от твердых частиц, выявлены достоинства и недостатки существующих конструкций, представлена новая конструкция циклонного аппарата для очистки газов.

***Ключевые слова:** очистка газов, циклоны, центробежная сила, пылеулавливание*

THE GASES PURIFIER DEVELOPMENT

P.V. Kuzminov, A.E. Lebedev

Scientific Supervisor – **A.E. Lebedev**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The analysis of existing devices from solid particles for gas purification is carried out, the advantages and disadvantages of existing structures are revealed, a new design of a cyclone gas purifier is presented.

***Keywords:** gas purifying, cyclones, centrifugal force, dust exclusion.*

Проблема очистки газов от твердых частиц и пыли на данный момент является актуальной и решена не полностью. Существующее оборудование для газоочистки обладает рядом недостатков.

Наибольшее распространение в настоящее время получили устройства циклонного типа. Отличительной особенностью которых является наличие удлиненной цилиндрической части корпуса. У таких аппаратов всегда определенное отношение диаметра корпуса к диаметру выхлопной трубы. С увеличением диаметра циклона при постоянной окружной скорости потока центробежная сила, которая воздействует на твердые частицы, уменьшается, следовательно, уменьшается эффективность пылеулавливания. Кроме того, установка одного высокопроизводительного циклона вызывает затруднения из-за его большой высоты.

Конические циклоны отличаются от цилиндрических наличием улиточного ввода очищаемого газа, а также удлиненной конической частью и меньшим отношением диаметров выхлопной трубы и корпуса аппарата. По сравнению с цилиндрическими пылеуловителями они характеризуются не только значительно большим гидравлическим сопротивлением, но и более высокой эффективностью. Минусом таких аппаратов является большие габариты.

В циклонах с обратным конусом используется центробежная сила, которая развивается при поступательно-вращательном направлении потока газа. Недостатками таких циклонов является низкая эффективность улавливания по сравнению с коническими циклонами.

Авторами данной работы предложена принципиально новая конструкция газоочистительного аппарата с небольшим гидравлическим сопротивлением, простой конструкции и с высокой степенью очистки.

Разработанный аппарат состоит из двух соосно размещенных ступеней очистки. Корпус устройства выполнен цилиндро-коническим, что позволило уменьшить его размеры и обеспечить размещение внутренней ступени. Устройство ввода размещено по касательной к верхней цилиндрической части. Выгрузка очищенного газа расположена сверху, а устройство выгрузки твердых частиц для обеих ступеней соединено с бункерами для приема твердых частиц. С целью повышения эффективности улавливания твердых частиц в нижней зоне цилиндрической части корпуса размещены опорные впадины цилиндрической формы, контактирующие внутренней поверхностью с соосно установленными цилиндрическими вставками, имеющими устройство поворота и сквозные щели прямоугольного поперечного сечения, в которых размещены с возможностью продольного перемещения отбойные пластины прямоугольной формы. Пластины снабжены механизмом перемещения вдоль щелей. Изменение углов наклона отбойных пластин и их выдвижение вдоль щелей позволяет использовать предлагаемый агрегат для работы с различными типами газов (разная степень запыленности, разный состав и тип твердых частиц и т. д.). В конической части цилиндро-конического корпуса на его внутренней поверхности выполнены прямолинейные ручьи, глубина которых уменьшается к устройству выгрузки твердых частиц.

Высокая степень очистки достигается организацией высокоскоростного ударного взаимодействия потока твердых частиц с отбойными пластинами, позволяющего более эффективно снизить их скорость и направить к устройству выгрузки твердых частиц, а далее в бункер.

Предлагаемый агрегат при сравнительно простой конструкции и невысоком гидравлическом сопротивлении позволяет эффективно очищать загрязненные газовые потоки, содержащие твердые частицы в раз-

личном количестве и отличающиеся по физико-механическим свойствам. Можно сделать вывод, что такая конструкция аппарата является наиболее эффективной для разделения газов от твердых частиц и пыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чекалов Л.В.* Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов. Ярославль: Русь, 2004. 424 с.
2. *Замураев А.Е.* Расчет пылеуловителей. Расчет циклонов и рукавных фильтров. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 50 с.
3. *Сугак Е.В.* Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами / Е.В. Сугак, Н.А. Войнов, Н.А. Николаев. 2-е изд. Казань: Отечество, 2009. 224 с.
4. *Страус В.* Промышленная очистка газов. М.: Химия, 1981. 616 с.

ДИСКРЕТНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПОТОКОМ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЯВЛЕНИЕМ СЕГРЕГАЦИИ

Д.В. Лебедев, А.Е. Лебедев

Научный руководитель – **А.Е. Лебедев**, д-р техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается проблема явления сегрегации. рассматривается процесс смешения сыпучих материалов, как поток событий и переходных процессов. Сделан вывод о целесообразности управления и контроля за переходными событиями.

***Ключевые слова:** Марковские процессы, сыпучие материалы, смешение, управление потоками.*

THE DISCRETE APPROACH TO FLOW CONTROL FOR RESISTANCE TO THE PHENOMENON OF SEGREGATION

D.V. Lebedev, A.E. Lebedev

Scientific Supervisor – **A.E. Lebedev**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article deals with the problem of segregation phenomenon. The process of mixing of bulk materials as a flow of events and transient phenomena is considered. The conclusion about the expediency of management and control over transitional event is made.

***Keywords:** Markov processes, bulk materials, mixing, flow control.*

В основе любой цепи производственных процессов, где фигурирует сыпучий материал, одним из базовых будет являться процесс смешения. При этом, не смотря на распространённость данного процесса, существует ряд актуальных проблем, которые делают задачу совершенствования процессов и аппаратов целесообразной для проведения исследований.

Одним из главных препятствий для оптимизации переработки сыпучих материалов является сегрегация. Для решения данной проблемы было бы целесообразно построить такую модель, при которой такие негативные явления, как сегрегация и влияющие на её возникновение процессы были бы сведены к минимальному показателю. Для этих целей требуется скорректировать процесс смешения, а также спроектировать соответствующее оборудование, для работы, согласно новому процессу.

Если рассматривать процесс приготовления смеси как некую систему, то можно выделить её переходные и конечные состояния (на основе простейшей системы):

1. Загрузка в смесительный аппарат;
2. Приготовление смеси;
3. Получение готового продукта;
4. Выгрузка из смесительного аппарата;
5. Загрузка для последующей транспортировки;
6. Выгрузка;
7. Хранение.

Если попытаться характеризовать данную систему согласно описанию системы при помощи Марковских процессов, где последующее состояние зависит от настоящего (это позволяет нам делать имеющее место в любой системе состояние неопределённости), то состояния приготовления смеси, получение готового продукта и хранение объединяются в систему и соединяются между собой переходными вероятностями, которыми в данной системе являются процессы загрузки/разгрузки (λ и μ) (рис. 1). Функционирование системы характеризуется интенсивностями таких переходных событий, вносящих неопределённость в систему, так как их мы не можем контролировать в должной степени.

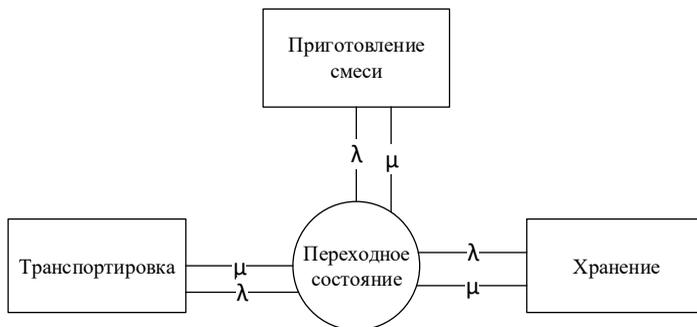


Рис. 1. Процесс приготовления смеси

Такой системный подход даёт нам возможность понять, что любой сложный процесс можно представить как систему, включающую в себя процессы, которые вносят неопределённость.

Подобным образом можно рассмотреть и, непосредственно, сам процесс приготовления смеси. В данном случае явление сегрегации будет вносить неопределённость в идеальную смесь с коэффициентом однородности, стремящимся к 1. В свою очередь, любое явление, в том числе сегрегацию, можно разложить на причины его вызывающие. Такое деление явления или процесса, вносящего неопределённость в систему, на составляющие и устранение или же минимизация первопричин в конечном итоге ведёт к снижению самой неопределённости.

Одним из путей снижения неопределённости может являться управление потоками. Существуют различные механизмы формирования потоков. Авторы статьи предлагают использовать способ дискретизации при помощи сегментированной решётки (рис. 2).

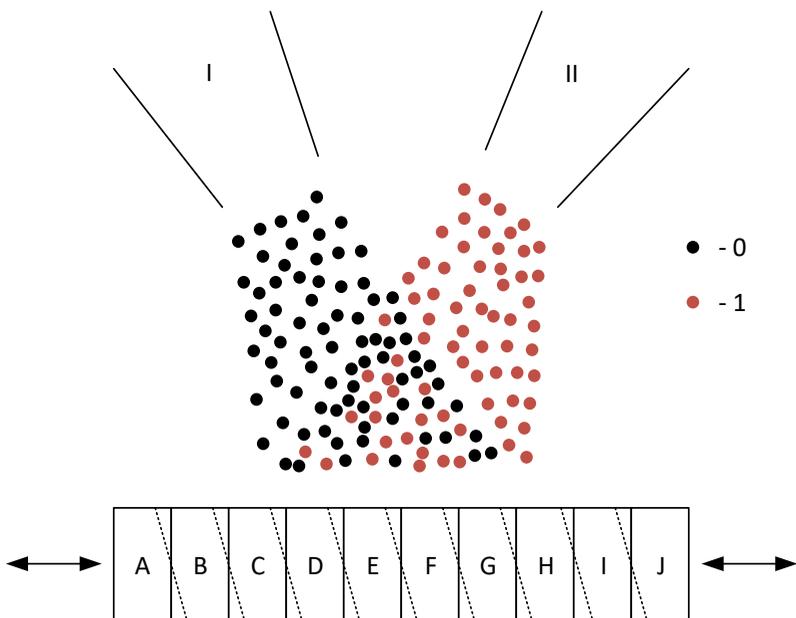


Рис. 2. Дискретный подход к разделению потока по ячейкам

Поскольку любое продвижение частиц по рабочим органам смесителя можно считать переходным состоянием, если рассматривать процесс

как дискретный. Таким образом, можно утверждать о бессмысленности задачи по снижению числа переходных вероятностей. Однако задача по управлению и контролю числа переходных вероятностей является актуальной и целесообразной, по мнению авторов. Это можно обеспечить за счёт описанной ранее сегментированной решётки. При том, если задать определённую траекторию движения данной решётке, то её можно рассматривать в качестве рабочего органа, обеспечивая процесс смешения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лебедев А.Е.* Математическое описание процесса образования дисперсных потоков / А.Е. Лебедев, А.И. Зайцев // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10. С. 3338-3341.
2. *Лебедев А.Е.* Оборудование для смешения и измельчения дисперсных материалов на принципе взаимодействия струйных потоков / А.Е. Лебедев, А.И. Зайцев, М.Н. Романова. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2016. 188 с.
3. *Кафаров В.В.* Системный анализ процессов химической технологии. Процессы измельчения и смешения сыпучих материалов / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов, С.Ю. Арутюнов. М.: Наука. 1985. 440 с.
4. *Романков П.Г.* Процессы и аппараты химической промышленности / П.Г. Романков, М.И. Курочкина. Л.: Химия, 1989. 560 с.

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В НОВОМ АППАРАТЕ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Д.А. Ригин, С.Н. Черпицкий, М.Ю. Таршис

Научный руководитель – **М.Ю. Таршис**, д-р техн. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

При описании процесса непрерывного смешивания использована «урновая» модель. В качестве критерия однородности смеси рассматривается вероятность попадания частицы ключевого компонента в зону активного смешивания. Сопоставление результатов расчета с экспериментом показало их хорошую сходимость.

Ключевые слова: аппарат, смешивание, сыпучий материал, вероятность, расчет.

THE BULKBLENDING DESCRIPTION IN THE NEW CONTINUOUS ACTION DEVICE

D.A. Rigin, S.N. Cherpitskiy, M.Yu. Tarshis

Scientific Supervisor – **M.Yu. Tarshis**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

At the description of continuous mixing process the "urn" model is used. As criterion of uniformity of mix the probability of hit of a particle of a key component in a zone of active mixing is considered. Comparison of results of calculation to an experiment showed their good convergence.

Keywords: device, mixing, grain material, probability calculation.

Достаточно распространенным типом устройств, используемых в современном производстве для переработки сыпучих материалов, являются смесители гравитационно-пересыпного действия. Несмотря на значительное многообразие известных конструкций, появляются новые

устройства данного типа, что связано с разнообразием условий их работы, которые определяются физико-механическими свойствами перерабатываемых материалов, требованиями к качеству получаемых составов, производительности и многими другими. Однако механизм процесса смешивания в таких устройствах принципиально не меняется. Анализ этого процесса устанавливает в поперечных сечениях смеси две зоны характерного поведения материала, разделенные линией обрушения: зоны активного смешивания и зоны транспортирования. Частицы смешиваемых компонентов циркулируют в поперечном сечении. При этом из зоны транспортирования они попадают в зону обрушения, из которой соответствующее число частиц вновь поступает в зону транспортирования. Такая картина поведения частиц установлена во всех сечениях, доступных наблюдению при исследовании нового смесителя непрерывного действия [1] методом фиксации поперечных сечений смеси через прозрачную стенку [2]. Таким образом, при изучении процесса смешивания можно рассматривать эволюцию распределения частиц смеси и её однородности в поперечном сечении смесителя, перемещающемся вдоль его оси.

При описании процесса в смесителе непрерывного действия, как и в работах [3] была использована урновая модель. При этом процесс смешивания был представлен как обмен частиц между урнами, моделирующими зоны характерного поведения и содержащими частицы компонентов. В качестве критерия, характеризующего однородность смеси принята вероятность p события, в результате которого частица ключевого компонента после однократного обмена попадает в урну, моделирующую зону активного смешивания. В этом случае, приняв в качестве обобщенной координаты $p = k_v V_c$, а обобщенную силу выбрав в виде $Q_p = -AV_c - BV_c^2$, где A, B - постоянные получим решение для коэффициента неоднородности смеси V_c :

$$V_c = \frac{(\alpha_2 V_{c0} - \alpha_3) e^{\alpha_1 k l} + (\alpha_3 - \alpha_1 V_{c0}) e^{\alpha_2 k l}}{\alpha_2 - \alpha_1}. \quad (1)$$

Среднее время пребывания частиц в аппарате при объеме Q материала, в нем равно $t = Q/P$, где P - производительность смесителя, $\text{м}^3/\text{с}$, $Q = Sl$, S - площадь поперечного сечения смеси, м^2 , l - расстояние от точки загрузки компонентов в смеситель до точки выгрузки (длины рабочей части смесителя), м. $t = Sl/P$ с.

Исследования были проведены при следующих параметрах смесителя: $S = 1,19 \cdot 10^{-2}$, $P = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, $l \in [0,01 - 0,405]$ м.

На рис. 1 графически представлены результаты исследований изменения коэффициента неоднородности смеси по длине аппарата (символы) с различными прямоугольными лопастями, и их сопоставление с расчетными значениями (сплошные линии).

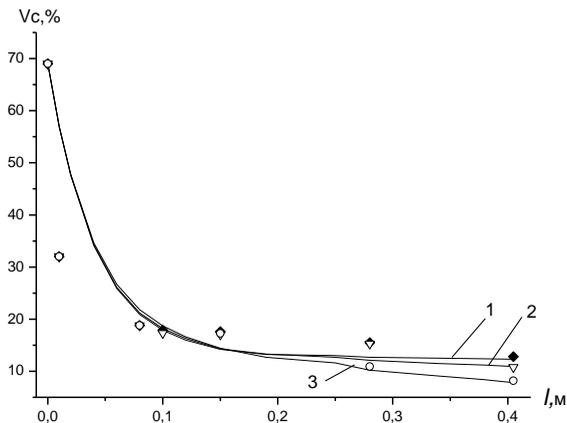


Рис. 1. Сопоставление опытных значений коэффициента неоднородности смеси с его расчетными значениями

Наклон лопастей к плоскости сечения составлял 30° . На рисунке размеры прямоугольных лопастей: кривая 1 — $b = 60, h = 60$, кривая 2 — $b = 60, h = 40$, кривая 3 — $b = 60, h = 20$ (мм).

При экспериментах загрузка компонентов осуществлялась через бункеры с сечениями выходных патрубков, обеспечивающими соотношение объемов загрузки компонентов $Q_1:Q_2=1:2$. Смешивались семена рапса и проса. Насыпные плотности и средние диаметры частиц: $\rho_1=666 \text{ кг/м}^3$, $d_1=1,75 \text{ мм}$, $\rho_2=840 \text{ кг/м}^3$, $d_2=2,25 \text{ мм}$. Коэффициент загрузки - 0,21. Угловая скорость вращения корпуса смесителя $2\pi \text{ рад/с}$.

При этом идентификационные коэффициенты в уравнении (1) составили: $\alpha_1=-1.1$, $\alpha_2=-0.1 \text{ с}^{-1}$ (кривая 1), $\alpha_1=-1.03$, $\alpha_2=-0.03 \text{ с}^{-1}$ (кривая 2), $\alpha_1=-1.08$, $\alpha_2=-0.08 \text{ с}^{-1}$ (кривая 3), $V_{c0} = 0.71$, $\alpha_3 = dV_{c0}/dt = -0.57$.

Средние квадратические отклонения расчетных значений коэффициента неоднородности от его экспериментальных значений не превышало 5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2618065 Российская Федерация. Смеситель сыпучих материалов / М.Ю. Таршис, С.Н. Черпицкий, Л.В. Королев, А.И. Зайцев; опубл. 02.05.2017, Бюл. № 13.
2. Пат. 2385454. Российская Федерация. Способ определения качества компонентов, различающихся по цвету. Оpubл. 27.01.2010. Бюл. № 1.
3. *Таршис М.Ю.* Теория и принципы моделирования процесса смешивания сыпучих материалов и создания устройств с гибкими элементами для его реализации / М.Ю. Таршис, Л.В. Королев, А.И. Зайцев. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2011. 100 с.

УДК 539.4

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Н.В. Смилык, Н.В. Бадаева

Научный руководитель – **Н.В. Бадаева**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Даётся понятие оптимального проектирования элементов конструкций, рассмотрен пример оптимального проектирования равномерно нагруженной консоли.

***Ключевые слова:** оптимальное проектирование, элементы конструкций, целевая функция, управляющие параметры, оптимальные значения.*

OPTIMAL DESIGN OF STRUCTURAL COMPONENTS

N.V. Smilyk, N.V. Badaeva

Scientific Supervisor – **N.V. Badaeva**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The concept of optimal design of structural elements is given, an example of optimal design of a uniformly loaded console is considered.

***Keywords:** optimal design, structural elements, objective function, control parameters, optimal values.*

При проектировании конструкций, прежде всего, необходимо обеспечить их эксплуатационную пригодность - достаточную прочность, жесткость и устойчивость, то есть конструкция должна быть рациональной, но при этом конструкция должна быть еще и экономичной. Оптимальная конструкция – лучшая из рациональных. Выбор оптимальной конструкции достигается расчетом по заданной математической модели ее параметров, обеспечивающих экстремальные (максимум или минимум) значения технико-экономических характеристик, при условии, что другие характеристики удовлетворяют заданной совокупности технических требований.

Математически задача оптимизации оформляется путем введения и последующего поиска оптимального значения некоторой функции, называемой функцией цели. Функция цели зависит от ряда параметров, которые называются управляющими параметрами. Для функции цели формулируется условие оптимальности. Как правило, на функцию цели и управляющие параметры накладывается еще ряд дополнительных условий – ограничений в форме равенств или неравенств. Оптимизирующие значения управляющих параметров находятся из условия оптимальности, сформулированного для функции цели, при выполнении дополнительных ограничений. Значение функции цели при найденных значениях управляющих параметров является искомым решением задачи оптимизации.

При оптимальном проектировании конструкции или сооружения роль функции цели может быть отведена весу, объему или стоимости конструкции, а условие оптимизации поставлено как условие минимума функции цели. Дополнительными условиями при этом являются условия прочности, а также в зависимости от роли и назначения конструкции условия устойчивости, жесткости, сейсмостойкости, долговечности и другие эксплуатационные и технологические условия. Параметрами оптимизации могут служить геометрические параметры формы отдельного элемента или всей конструкции в целом, а также параметры характерных сечений.

Этап составления целевой функции при оптимизации конструкции является самым творческим и неформальным. Целевая функция строится на основе выходных параметров конструкции (характеристик), которые необходимо оптимизировать. Таким образом, оптимальное проектирование сводится к составлению или выбору целевой функции, многократному анализу характеристик (выходных параметров) элементов и затем минимизации или максимизации целевой функции с применением различных методов оптимизации. Выбор метода оптимизации обусловлен спецификой решаемой задачи.

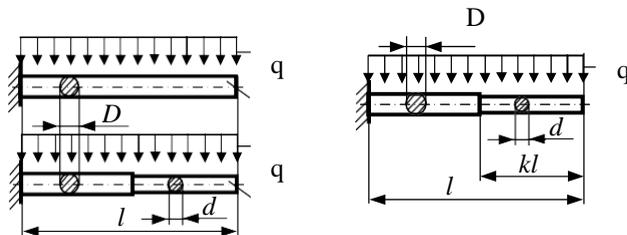


Рис. 1

Рассмотрим задачу оптимального проектирования для равномерно нагруженной (q – интенсивность распределенной нагрузки) консоли с круглым поперечным сечением заданной длины (l). Пусть требуется уменьшить объем консольной балки, не снижая ее прочности. При этом имеется технологическая возможность использовать в конструкции балку заданной длины l и со ступенчатым изменением диаметра балки. В самом простом случае проектируем балку, состоящую из двух участков, рис. 1. Определим диаметры поперечных сечений и длины участков, обеспечивающих минимальный объем балки при сохранении ее прочности.

1. Границы элемента - длина элемента задана

$$l = \text{const.}$$

2. Целевая функция – объем элемента – определяется формулой

$$V = \frac{\pi D^2}{4} l(1 - k) + \frac{\pi d^2}{4} lk$$

3. Управляющие параметры – коэффициент пропорциональности длины участков (k) и диаметры первого и второго участков (D, d).

4. Дополнительные ограничения – условие прочности для балки:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{изгmax}}{W_x} = \frac{32 \cdot M_{изгmax}}{\pi D^3} = \frac{M_1}{0.1 D^3} \leq R_y \gamma_c$$

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{M_1}{0.1 R_y \gamma_c}}$$

условие равно прочности первого и второго участков

$$\frac{M_1}{0.1 D^3} = \frac{M_2}{0.1 d^3}$$

$$\frac{q l^2}{2 * 0.1 D^3} = \frac{q (kl)^2}{2 * 0.1 d^3}$$

$$d = D k^{\frac{2}{3}}$$

5. Окончательный вид целевой функции

$$V = \frac{\pi D^2}{4} l(1 - k) + \frac{\pi d^2}{4} lk = \frac{\pi D^2}{4} l(k^{\frac{7}{3}} + 1 - k) \rightarrow \min$$

6. Определим минимум целевой функции

$$\frac{dV_2}{dk} = \frac{\pi D^2}{4} l \left(\frac{7}{3} k^{\frac{4}{3}} - 1 \right) = 0$$

$$k = \left(\frac{3}{7} \right)^{\frac{3}{4}}$$

7. Экономия материала составит

$$\Delta = \frac{V_1 - V_2}{V_1} * 100 = 100k \left(1 - k^{\frac{3}{4}}\right) = 100 \left(\frac{3}{7}\right)^{\frac{3}{4}} \left(1 - \frac{3}{7}\right) = 30.3\%$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы оптимального проектирования: Текст лекций / СПбГУАП. СПб., 2001. 169 с.
2. Таршис Ю.Д. Основы оптимального и вероятностного проектирования элементов конструкций: Учебное пособие / Ю.Д. Таршис, М.Ю. Таршис. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2001. 387 с.

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СМЕСЕЙ СЫПУЧИХ СРЕД

С. Суид, А.Е. Лебедев¹, И. Суид²

Научные руководители – **А.Е. Лебедев**, д-р техн. наук, доцент;
Имен Суид, профессор

¹Ярославский государственный технический университет

²King Khalid University, Саудовская Аравия, г. Абха

Предложен новый экспресс метод оценки качества смесей трудноразделимых сыпучих сред, основанный на цифровой обработке фотографий проб смеси и компонентов.

Ключевые слова: сыпучий материал, алгоритм, экспресс-метод.

RAPID QUALITY TEST OF GRANULAR MEDIA MIXTURES

S. Suid, A.E. Lebedev¹, I. Suid²

Scientific Supervisors – **A.E. Lebedev**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor;
I. Suid, Professor

¹Yaroslavl State Technical University

²King Khalid University, Saudi Arabia, Abha

A new express method for assessing the quality of mixtures of difficult-to-separate granular media, based on digital processing of photographs of mixture samples and components is proposed.

Keywords: particulate material, algorithm, rapid method.

Процессы смешивания сыпучих сред применяются практически во всех отраслях современной промышленности. Способы оценки качества смесей основываются на различиях в физико-механических свойствах частиц смешиваемых веществ. В связи с высокой трудоемкостью операций разделения, просеивания и взвешивания компонентов смесей был разработан новый способ экспресс-оценки качества смеси. В основу дан-

ного способа положен анализ цифровых изображений проб смесей и самих компонентов, в том числе, трудноразделимых материалов. Необходимым условием для реализации данного метода является отличие по цвету частиц смешиваемых материалов.

При исследовании смешиваемые материалы и их пробы раскладываются тонким слоем на гладкой площадке и сканируют или фотографируют при одинаковых условиях, жестко установленных настройках светочувствительности и баланса белого.

В процессе обработки изображений проб осуществляют отнесение пикселей к одному из компонентов, для этого вводится понятие порогового оттенка. Способ включает следующие операции: подсчет числа проб, минимально допустимого веса пробы, отбор проб смеси и ее компонентов, распределение проб равномерным слоем на гладкой поверхности и фотографирование, проведение попиксельного анализа изображений смешиваемых компонентов с получением гистограмм распределения пикселей изображения по оттенкам серого в отношении к их общему количеству, определение порогового оттенка, определение значения концентраций ключевого компонента в пробах смеси, как отношения количества пикселей, ему соответствующих, к общему количеству пикселей изображения пробы и расчет коэффициента неоднородности смеси, при вычислении значения порогового оттенка находят координаты центров тяжести площадей гистограмм распределения пикселей компонентов смеси и присваивают пороговому оттенку значение, соответствующее абсциссе середины отрезка между центрами тяжести площадей гистограмм. Авторами предложен новый способ определения порогового оттенка по делению отрезка между центрами тяжести площадей под гистограммами распределений пикселей в определенном соотношении.

Предлагаемый экспресс-метод оценки качества смеси может быть использован даже в тех случаях, когда компоненты смеси имеют близкие цвета, что расширяет его область применения. Область применения разработанного алгоритма существенно расширяется благодаря таким преимуществам как возможность обработки изображений проб с близкими по цвету компонентами и возможность обработки цветных изображений проб без какой-либо предварительной подготовки фотографий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М., 1973.
2. Пат. 2385454 Россия, МПК В01F3/18. Способ определения качества смеси компонентов, различающихся по цвету / М.Ю. Таршис, Л.В. Королев, А.И. Зайцев. Опубл. 27.03.2010.
3. mixan, 2015. URL: <http://pa2311.blogspot.com/p/mixan.html>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА НЕОДНОРОДНОСТИ СЫПУЧИХ СМЕСЕЙ

А.А. Ватагин, А.Е. Лебедев

Научный руководитель – **А.Е. Лебедев**, д-р техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В работе рассматривается новый способ определения коэффициента неоднородности сыпучих сред, а также обзор проведенных экспериментов с конечными результатами.

***Ключевые слова:** смешивание, однородность, сегрегация, исследование, смесь.*

DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF THE BULK MIXTURES INHOMOGENEITY

A.A. Vatagin, A.E. Lebedev

Scientific Supervisor – **A.E. Lebedev**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper discusses a new method for determining the coefficient of heterogeneity of granular media, as well as a review of the experiments conducted with the final results.

***Keywords:** mixing, uniformity, segregation, a study, a mixture.*

При осуществлении процессов перемешивания сыпучих сред происходит взаимное перемещение и перераспределение частиц смешиваемых компонентов. В идеальном процессе мы должны получить на выходе смесь, в любой точке которой к каждой частице одного из компонентов примыкают частицы другого компонента в количестве определяемым выбранным соотношением.

В то же время при смешении материалов, частицы которых различаются по плотности, размерам или форме, получение однородных смесей затруднено. Это вызвано разделением компонентов под действием центробежных сил и за счет различия в размерах частиц [1, 2].

Для определения коэффициента неоднородности необходимо провести ряд опытов с сыпучими материалами такими как: гречневая крупа и пшено в следующих соотношениях: 1 к 1, 1 к 2, 3 к 2. Результаты приведены в таблице, на рис. 1 представлен вид смеси в соотношении 3 к 2.

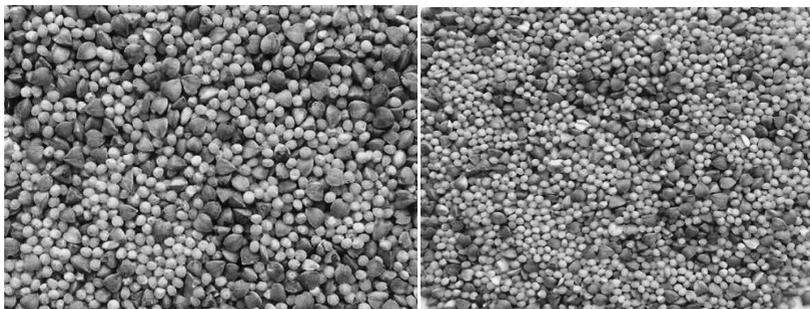


Рис. 1. Смесь сыпучих веществ в соотношении 3 к 2

Порядок проведения опытов выглядел следующим образом:

1. Замер с помощью мерного стакана и весов материалов массой по 60 грамм соответственно (далее 60 и 120, 120 и 180);
2. Высыпание в аппарат для перемешивания, с последующим смешиванием материалов;
3. Отбор нескольких случайных проб;
4. Съемка каждой пробы на фотокамеру с установленными параметрами;
5. Подготовка изображений для анализа (обрезка фотографий в графическом редакторе FastStone);
6. Анализ изображений с расчетом концентраций и коэффициента неоднородности в программе Mixan.

По итогу программа строит гистограмму распределения (рис. 2) и выдает значения концентрации, в нашем случае это будет являться коэффициентом неоднородности.

Результаты опытов

№	C_1	C_2	C_3
1	0,825	0,891	0,919
2	0,814	0,892	0,943
3	0,794	0,861	0,917
4	0,782	0,871	0,912
5	0,758	0,880	0,897
6	0,818	0,908	0,865

В приведенной таблице значения C_1 , C_2 , C_3 – это значения концентраций соответствующих отношений 1 к 1, 2 к 1 и 3 к 2.

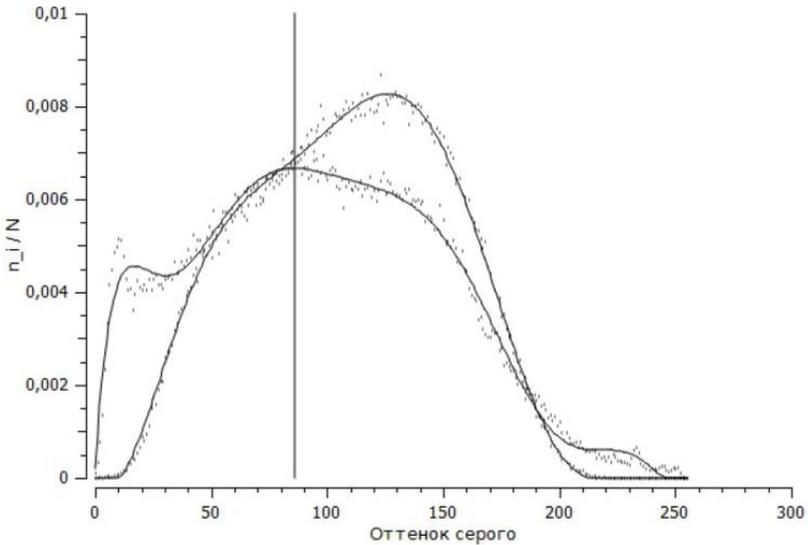


Рис. 2. Гистограмма распределения

Таким образом, применение вышеописанного способа позволяет достаточно точно и быстро осуществлять замер коэффициента неоднородностей различных смесей сыпучих сред, в том числе, когда смесь трудноразделима и использовать ситовый анализ невозможно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метод определения коэффициента неоднородности смеси при взаимодействии разреженных потоков / А.Е. Лебедев, А.И. Зайцев, А.Б. Капранова, А.А. Петров // Изв. вузов. Химия и химическая технология. Иваново, 2012. Т. 55, вып. 11. С. 119-121.
2. Математическая модель механики движения сыпучих материалов в разреженных потоках аппаратов с эластичными рабочими элементами / А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев, А.И. Зайцев, И.О. Кузьмин // Изв. вузов. Химия и химическая технология. Иваново, 2009. Т. 52, вып. 5. С. 111-113.
3. *Макаров Ю.И.* Аппараты для смешивания сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. С. 216.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРИ ПРОЦЕССАХ СМЕШЕНИЯ

А.А. Ватагин, А.Е. Лебедев

Научный руководитель – **А.Е. Лебедев**, д-р техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается проблема контроля качества выпускаемой продукции при процессах смешения веществ склонных к сегрегации, а также существующие на сегодняшний день методы и способы контроля качества.

***Ключевые слова:** контроль, качество, процессы, смешение, сегрегация.*

QUALITY CONTROL DURING MIXING PROCESSES

A.A. Vatagin, A.E. Lebedev

Scientific Supervisor – **A.E. Lebedev**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article deals with the problem of quality control of manufactured products during the processes of mixing substances prone to segregation, as well as existing methods and methods of quality control.

***Keywords:** control, quality, processes, mixing, segregation.*

Что же такое качество? Данному термину выделяется достаточно много места как в нашей, так и в зарубежной научной литературе. С точки зрения философии качество выражает неотделимое от бытия предмета его сущностную определенность, благодаря которой он является именно данным, а не иным предметом [1].

Большое количество трактовок понятия качества отводиться на конкретно экономические формулировки. В частности, американский профессор Х.Д. Харрингтон пишет, что качество – это удовлетворение ожиданий потребителя за цену, которую он может себе позволить, когда

у него возникнет потребность, а высокое качество – это превышение ожиданий потребителя за более низкую цену, чем он предполагает.

Международный стандарт определяет качество как совокупность характерных свойств, формы, внешнего вида и условий применения, которыми должны быть наделены товары для соответствия своему назначению. Все эти элементы определяются требованиями к качеству, которые воплощены на этапе проектирования в технической характеристике изделия, в конструкторской документации и технических условиях, предусматривающих качество сырья, конструктивные размеры, сочетание оттенков, глянец и т.д.

Процессы контроля качества различаются в зависимости от того, какие методы применяются в исследованиях: количественные, качественные или полуколичественные.

Общие методы для оценки качества любой продукции бывают следующими, но сначала о самом определении. Методы контроля качества – это простые в использовании средства, основанные на графическом изображении данных, позволяющие распознать, понять и решить проблему [3].

Семь инструментов качества можно использовать в фазах: обнаружения дефектов и анализа дефектов. К ним относятся:

- Сводная карта дефектов;
- Гистограмма;
- Карта регулирования качества;
- Мозговой штурм;
- Причинно-следственная диаграмма;
- Диаграмма корреляций;
- Диаграмма Парето.

В идеальной смеси смешиваемые компоненты должны распределяться по ее объему таким образом, чтобы к любой частице одного из компонентов примыкали частицы других компонентов в количествах, определяемых заданными соотношениями компонентов.

Для объективной количественной оценки отклонений служат критерии качества, вычисляемые на основе информации о пространственном распределении частиц смеси, полученной опытным путем или в результате теоретических расчетов. На рис. 1 изображена структурная схема критериев качества.

Наиболее перспективным направлением развития контроля являются бесконтактные методы.

Эти методы основаны на способности вещества ключевого компонента поглощать, отражать, рассеивать или испускать электромагнитные

волны в каком-либо диапазоне частот с интенсивностью, пропорциональной концентрации ключевого компонента в исследуемой области смеси, что позволяет получать информацию о распределении частиц смешиваемых фракций без извлечения проб из исследуемого объема.



Рис. 1. Структурная схема критериев качества

Наиболее доступными и дешевыми из бесконтактных методов оценки качества сыпучих смесей являются методы, основанные на анализе фотоизображения поверхности смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров А.Н. Управление качеством. Конспект лекций. Ростов-на-Дону, 2011 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bizlog.ru/lib/b2/>
2. Качалов В.А. Зарубежный опыт проведения самооценки деятельности в области качества // Стандарты и качество. 1997. № 5. С. 47-53.
3. Липидус В.А. Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях / Гос. ун-т управления; Нац. фонд подготовки кадров. М.: ОАО «Типография Новости», 2000. 432 с.
4. Системы обеспечения качества в отрасли. Конспект лекций. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2015.

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ

В.И. Зеленый, И.С. Шеронина

Научный руководитель – **И.С. Шеронина**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Проведен анализ влияние повышенных температур на прочностные свойства стали. Даны понятия явления ползучести и синеломкости. Определены легирующие элементы повышающие жаропрочность и жаростойкость сталей.

***Ключевые слова:** ползучесть, синеломкость, жаропрочность, жаростойкость, тугоплавкость.*

THE HIGH TEMPERATURE EFFECT ON MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE STEEL

V.I. Zeleny, I.S. Sheronina

Scientific Supervisor – **I.S. Sheronina**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The high temperatures effect on the strength properties of steel has been analyzed. The concepts of the phenomenon of creep and blue brittleness are given. Alloying elements have been identified which increase heat resistance of the steel.

***Keywords:** creep, blue brittleness, heat resistance, infusibility.*

Углеродистая сталь обыкновенного качества представляет собой сплав железа с углеродом с включением некоторого количества кремния (или алюминия) и марганца. Кроме того, из руды, в ее состав могут попадать медь, хром и т.д.

В состав легированных сталей, помимо железа и углерода входят дополнительные добавки, которые улучшают их качество, однако сильно удорожают ее стоимость.

В обычном машиностроении, в основном используются низколегированные стали с суммарным содержанием легирующих добавок не более 5%.

К основным механическим характеристикам, характеризующим сопротивление материалов внешним нагрузкам, относятся: прочность, упругость, пластичность, твердость, ползучесть, а также синеломкость.

Во многих машинах: двигателях внутреннего сгорания, в паровых котлах, газовых турбинах и. т. д. металл работает в условиях высоких температур, особенно высокие температуры достигаются в авиационных двигателях (свыше 1000 °С). Поэтому анализ влияния высоких температур на прочностные и деформационные характеристики сталей представляет определенный интерес.

Проведенные исследования (рис. 1) показывают, что механические характеристики стали при ее нагревании до температуры от 20 °С до 200 °С меняются незначительно. При дальнейшем повышении температуры от 200 °С до 300 °С прочность стали несколько повышается при одновременном снижении ее пластичности. Другими словами, сталь становится более хрупкой, что показывается синеломкостью. Синеломкость – снижение пластичности стали при одновременном повышении прочности, наблюдаемое при деформации в интервале температур, вызывающих синий цвет побежалости (200–300 °С). При этой температуре не следует обычную сталь подвергать большим деформациям и ударным нагрузкам.

Если дальше продолжать повышать температуру свыше 400 °С, происходит резкое падение предела текучести и предела прочности, при этом удлинение и уменьшение поперечного сечения стержня при разрыве наоборот растут. При дальнейшем повышении температуры свыше 600 °С сталь теряет свою способность нести внешнюю нагрузку (несущую способность). Кроме того, при повышении температуры появляется способность металла к очень медленному, но непрерывному изменению размеров под действием очень малых и постоянных во времени напряжений. Это явление носит название ползучести. Ползучесть – свойство металла непрерывно деформироваться во времени без увеличения нагрузки. При постепенном и постоянном удлинении в металле появляются микротрещины, что вызывает концентрацию напряжений и в конечном счете приводит к его разрыву.

Ползучесть стали является одним из наиболее важных проявлений влияния повышенной температуры на механические характеристики стали. Считается, что начиная с 400 °С расчеты деталей машин необходимо проводить с учетом влияния ползучести.

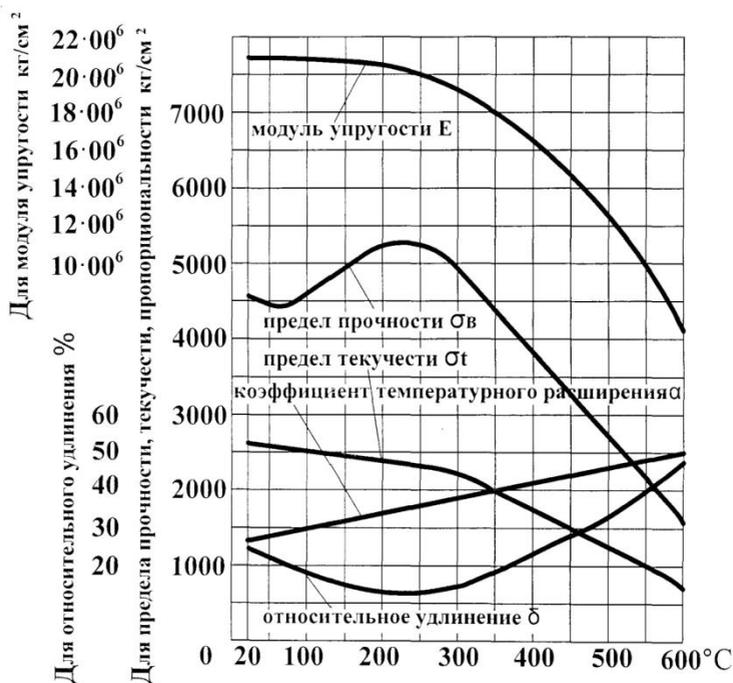


Рис. 1. Зависимость механических свойств стали от температуры

Таким образом, воздействие высоких температур, отрицательно влияет на прочностные свойства и несущую способность металла. Для того, чтобы ограничить отрицательное воздействие на механические характеристики стальных конструкций высоких температур необходимо: либо каким-то образом защитить металл от ее воздействия, либо использовать для их изготовления особо прочные материалы, предназначенные для применения в высокотемпературных средах. К таким материалам относятся жаропрочные стали и сплавы. При их создании стараются избегать явления ползучести, для этого в состав стали добавляют легирующие элементы, представляющие собой тугоплавкие металлы. К ним относятся: Вольфрам, Рений, Ванадий, Молибден, Цирконий и т. д. Состав легирующих добавок указывают в наименовании сталей: первые две цифры в марке стали соответствуют содержанию углерода в сотых долях процента, далее перечисляют добавки и их содержание с округлением до целых процентов, цифру 1 при этом не проставляют. Например: 08X17T.

Тугоплавкие металлы, входящие в химический состав сталей, характеризуются следующими температурами плавления (см. табл.1).

Таблица 1. Температуры плавления металлов

Металл	Температура плавления, °С
Вольфрам	3880
Рений	3180
Ванадий	1900
Молибден	2620
Цирконий	1855

Жаропрочные стали и сплавы способны успешно эксплуатироваться при постоянном воздействии высоких температур не разрушаясь. Кроме жаропрочности легированные стали и сплавы должны обладать жаростойкостью (т.е. довольно длительное время в условиях повышенных температур активно противостоять газовой коррозии). В повышении жаростойкости стали особая роль принадлежит хрому, алюминию и кремнию. Соединяясь с кислородом, эти элементы способствуют формированию в структуре металла плотных и надежных кристаллических структур, что и улучшает способность безболезненно переносить воздействие повышенных температур. Лучшую жаростойкость демонстрируют стали, легирование которых выполнено на основе такого металла, как хром. К наиболее известным маркам стали, которые называются сильхромами, относятся: 08X17T, 15X25T, 15X6СЮ. Жаростойкие стали и сплавы используются в основном при изготовлении ненагруженных конструкций, которые эксплуатируются при температуре не превышающей 550 °С.

Таким образом, при изготовлении деталей машин, которые должны эксплуатироваться при высоких температурах, необходимо учитывать такие явления как ползучесть, газовая коррозия, синеломкость, а также снижение предела прочности и текучести при одновременном увеличении удлинения и значительном уменьшении размеров поперечного сечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Феодосьев В.И.* Сопротивление материалов: учебник для вузов. 10-е изд, перераб. М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 512 с.
2. *Любошиц М.И.* Справочник по сопротивлению материалов / М.И. Любошиц, Г.М. Ицкович. Изд. 2-е, исправл. и доп. Минск: Высшая школа, 1969. 464 с.

РЕШЕНИЕ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ЗАДАЧ НА РАСТЯЖЕНИЕ–СЖАТИЕ МЕТОДОМ СИЛ

Д.В. Шпилькин

Научный руководитель – **А.М. Шапошников**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается метод сил, при решении статически неопределимой задачи, на растяжение – сжатие.

***Ключевые слова:** Перемещение, деформация, статическая неопределимость.*

SOLUTION OF STATICALLY INDETERMINATE TASKS IN TENSION–COMPRESSION BY THE FLEXIBILITY METHOD

D.V. Shpilkin

Scientific Supervisor – **A.M. Shaposhnikov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The flexibility method in solving the statically indeterminate tasks of tension–compression is considered.

***Keywords:** displacement, deformation, static uncertainty.*

Решение статически неопределимых задач на растяжение - сжатие методом сил.

Система считается статически неопределимой если число связей превышает их количество, необходимое для неподвижной фиксации системы. Связи считаются упругими с заданными величинами жесткости. Решение таких систем заключается в составлении наряду с уравнениями статики дополнительных уравнений совместности деформаций, возника-

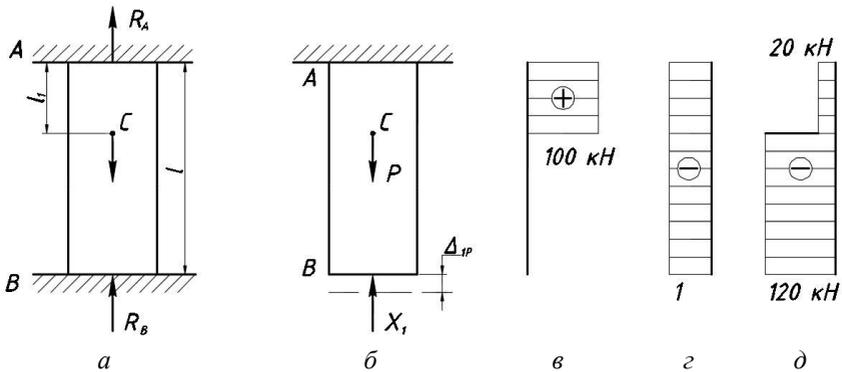
ющих в стержнях под влиянием заданных нагрузок, монтажных зазоров и изменения температуры.

Метод сил широко используется при решении статически неопределимых балок и рам. Он заключается в составлении основной системы, обладающей минимальным количеством необходимых для обеспечения равновесия связей и заменой оставшихся связей неизвестными усилиями. Решая систему канонических уравнений, определяются данные неизвестные усилия.

Исходные данные:

Стальной прямолинейный стержень постоянного сечения длиной $l = 1,5$ м жестко заделан обоими концами и нагружен силой $P = 100$ кН в сечении C , отстоящем на расстоянии $l_1 = 0,5$ м от верхней заделки (рисунок *a*). Площадь сечения стержня $A = 10$ см². При сборке выяснилось, что стержень длиннее номинального размера на 0,01%, т.е. $\delta_0 = 10^{-4} * l = 0,15$ мм. Определить реакции R_A и R_B заделках стержня, если после сборки он нагревается на $\Delta T = 26,7$ °С. Коэффициент линейного расширения стали $\alpha = 1,25 * 10^{-5}$ 1/град, модуль упругости $E = 2 * 10^5$ МПа.

Методика решения задачи:



(*в* – эпюра N_p ; *г* – эпюра \bar{N}_1 ; *д* – эпюра N)

Уравнение статики будет иметь вид:

$$R_A + R_B = P.$$

Задача один раз статически неопределима. Выберем основную систему, удалив заделку B и заменив ее неизвестной силой $X_I = R_B$. Для определения X_I достаточно составить одно каноническое уравнение:

$$\delta_{11} X_I + \Delta_{1P} = 0$$

(δ_{11} – перемещение, от единичной силы X_I ; Δ_{1P} – перемещение, вызванное нагрузкой P),

из которого следует, что $X_I = -\Delta_{IP}/\delta_{II}$. Перемещение δ_{II} от единичной силы $X_I = 1$ определяем по закону Гука.

$$\delta_{II} = \frac{1}{c} = \frac{l}{EA} = \frac{1,5}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ м/Н},$$

$$\Delta_{IP} = \frac{R_p \cdot \bar{R}_1 \cdot l_1}{EA} + \alpha \Delta T^\circ \cdot \bar{R}_I + \delta_0 \bar{R}_I = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot (-1) \cdot 0,5}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} +$$

$$+ 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 1,5 \cdot 26,7 \cdot (-1) + 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot (-1) = -9 \cdot 10^{-4} \text{ м},$$

$$X_I = -\frac{\Delta_{IP}}{\delta_{II}} = \frac{-9 \cdot 10^{-4}}{7,5 \cdot 10^{-9}} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Н} = 120 \text{ кН}.$$

Здесь свободный член уравнения Δ_{IP} определяем, используя принцип возможных перемещений, согласно которому сумма работ всех внешних и внутренних сил на любых кинематически возможных перемещениях точек упругой системы равна нулю.

Суммарная эпюра внутренних сил в стержне показана на рис. *д*.

Стержень испытывает сжатие по всей длине, так как суммарное влияние ΔT° и δ_0 оказывается больше воздействия растягивающей силы, которая лишь уменьшает сжатие в верхней части стержня (скачок в сечении *С*). Реакция R_A верхней заделки определяется из уравнения равновесия. Она равна:

$$R_A = P - R_B = 100 - 120 = -20 \text{ кН}.$$

Реакция R_A имеет знак *минус*, т.е. направлена вниз, противоположно вектору, на рис. *а*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вольмир А.С.* Сопротивление материалов: учебник для вузов / А.С. Вольмир, Ю.П. Григорьев, А.И. Станкевич. М.: Дрофа, 2007. 591 с.

РАЗРУШЕНИЕ СТОЙКИХ ЭМУЛЬСИЙ МЕТОДОМ РАСПЫЛЕНИЯ

А.Д. Башков, А.Е. Лебедев

Научный руководитель – **А.Е. Лебедев**, д-р техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проведен анализ существующих способов разрушения нефтяных эмульсий, выявлены достоинства и недостатки существующих методов, представлен новый способ разделения стойких эмульсий методом распыления

***Ключевые слова:** разрушение эмульсий, стойкие эмульсии, деэмульгация, распыление*

THE DESTRUCTION OF STABLE EMULSIONS BY SPRAYING METHOD

A.D. Bashkov, A.E. Lebedev

Scientific Supervisor – **A.E. Lebedev**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The analysis of the existing methods of destruction of oil emulsions, identified advantages and disadvantages of existing methods, a new method of separation of persistent emulsions by spraying method were presented.

***Keywords:** the destruction of emulsions, stable emulsions, de-emulsification, spraying method.*

Проблема разделения стойких эмульсий в данное время решена не окончательно. Существующие способы деэмульгации обладают рядом недостатков такими как высокая стоимость, энергозатраты и длительность процесса.

Одним из перспективных направлений разделения стойких эмульсий является метод, основанный на тонком распылении исходной эмульсии при котором струи комплексных жидкостей под действием аэродинамических и поверхностных сил, а также внутренних вихревых течений распадаются на капли исходных жидкостей [1-6]. Основным преимуществом данного метода над существующими способами разделения является отсутствие необходимости применения центробежных, гравитационных и других силовых полей для создания которых необходимы высокие энергозатраты. В связи с новизной предлагаемого способа разделения и отсутствием методик расчета основных режимных и конструктивных параметров авторами работы предложено математическое описание процесса формирования дисперсного факела капель эмульсии форсуночным распылителем. Для описания применим вероятностный метод, успешно зарекомендовавший себя при моделировании многих процессов переработки дисперсных систем.

Данные зависимости позволяют вычислить наиболее вероятное значение угловой скорости, соответствующей распаду комплексных капель на вторичные, представляющие собой капли исходных жидкостей.

Авторами данной работы предложен принципиально новый метод разделения стойких эмульсий методом тонкого и сверхтонкого распыления. Суть этого метода в следующем.

Стойкая трудноразделимая эмульсия из емкости подается насосом на вращающийся конусный распылитель малого диаметра и распыляется. В процессе тонкого распыла эмульсия распадается на комплексные капли (состоящие из двух исходных несмешивающихся жидкостей). Комплексные капли нестойки и под действием воздушных потоков и поверхностного натяжения распадаются на капли исходных жидкостей. Капли разделенных жидкостей оседают и уже не смешиваются.

Благодаря тому, что процесс разделения осуществляется в дисперсном состоянии, а в качестве рабочего органа разделителя применяется быстровращающаяся коническая насадка, удается с минимальными затратами энергии и времени проведения процесса по сравнению с существующими методами осуществлять достаточно качественное разделение стойких эмульсий на исходные жидкие среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зимон А.Д.* Коллоидная химия. М.: Агар, 2001. 320 с.
2. *Фролов Ю.Г.* Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1982. 400 с.

3. *Щукин Е.Д.* Коллоидная химия / Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина. М.: Высш. шк., 1992. 414 с.
4. *Воюцкий С.С.* Курс коллоидной химии. Л.: Химия, 1984. 300 с.
5. К расчету процесса ударного взаимодействия потока твердых частиц с преградой / А.Е. Лебедев, А.И. Зайцев, А.А. Петров, И.С. Шеронина, А.С. Суханов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. Иваново, 2011. Т. 54, вып. 6. С. 105-106.
6. *Луанов А.П.* Совершенствование, научное обоснование и промышленное освоение технологического процесса производства асфальтобетонных смесей с использованием «старого» асфальтобетона: дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08. Ярославль, 2010. 338 с.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ С ОТКЛЮЧАЕМЫМИ ЦИЛИНДРАМИ

В.М. Ратушный, А.И. Яманин

Научный руководитель – **А.И. Яманин**, д-р техн. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается влияние отключения цилиндров на параметры вибро-активности двигателя и нагрузки на шейки и подшипники коленчатого вала.

Ключевые слова: *низкочастотная вибрация, отключение цилиндров, регулирование двигателя, нагрузки на шейки и подшипники коленчатого вала.*

THE ENGINES MOTOR DINAMICS WITH CYLINDER COMPONENT DEACTIVATION SPECIAL FEATURES

V.M. Ratushny, A.I. Yamanin

Scientific Supervisor – **A.I. Yamanin**, Doctor of Technical
Sciences, Professor

Yaroslavl State Technical University

The cylinder shutdown influence on the parameters of vibration activity of the engine and the loads on crankshaft is considered.

Keywords: *low-frequency vibration, cylinder shutdown, engine regulation, loads on crankshaft.*

Одним из действенных способов повышения эксплуатационной экономичности и одновременного снижения выбросов токсичных веществ является отключение части цилиндров и/или пропуск вспышек топлива. Данный способ применяется в серийном производстве целым рядом производителей, каждый из которых использует различные

устройства для его реализации [1]. При этом единое мнение о рациональном количестве отключаемых цилиндров до сих пор не выработано. Если ранее существовало мнение о том, что данный метод регулирования подходит исключительно для многоцилиндровых (8 и более цилиндров) двигателей с большими рабочими объемами, то сейчас серийно выпускается рядный четырехцилиндровый двигатель с рабочим объемом 1,4 л, позволяющий экономить 0,4 л на 100 км (Volkswagen TSI 1,4 л). Производители (BMW, Porsche и Cadillac) более крупных двигателей с рабочими объемами от 2,5 до 6 л достигли величины экономии топлива от 25 до 35%.

В настоящее время, помимо топливной экономичности и снижения выбросов токсичных веществ, большое внимание уделяется вопросам о снижении шумо- и виброактивности. Отключение части цилиндров неизбежно будет оказывать влияние на эти (а также другие) динамические характеристики двигателя. Известны работы по низкочастотной вибрации двигателей с отключаемыми цилиндрами [2, 3]; при этом работы по нагруженности кривошипно-шатунного механизма, вибропрочности таких двигателей нам неизвестны.

Экспериментально установлено, что для двенадцатицилиндрового двигателя ЯМЗ-8401 при частоте вращения коленчатого вала в диапазоне $600-800 \text{ мин}^{-1}$ различия с точки зрения повышения топливной экономичности и уровня вибраций являются незначительными при отключении трех, шести или восьми цилиндров. Однако при превышении частоты вращения 800 мин^{-1} наиболее выгодным является режим работы двигателя с тремя отключенными цилиндрами. При этом было замечено некоторое уменьшение низкочастотной вибрации двигателя [2].

Помимо изменения вибрационного состояния двигателя, отключение части цилиндров приводит к изменению нагрузок на шейки и подшипники коленчатого вала. В ходе расчетного исследования двигателя 4СН10,5/12,7 с различными способами отключения цилиндров было определено, что отключение цилиндров способствует снижению нагрузок на коренные шейки и подшипники, причем наибольший эффект достигается при отсутствии газообмена (рис. 1–3) [3].

Несмотря на развитие метода регулирования мощностью двигателя путем отключения части цилиндров и/или пропуском вспышек топлива, недостаточно внимания уделяется вопросам высокочастотной вибрации и вибропрочности. Данная тематика является малоизученной с точки зрения прикладных расчетов двигателей с отключаемыми цилиндрами и представляет интерес для будущих исследований.

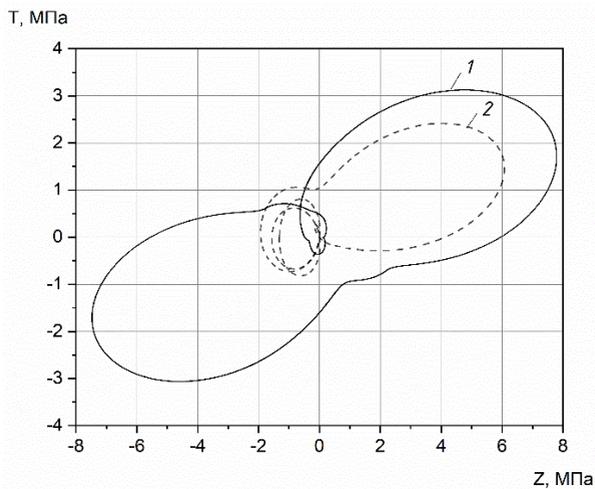


Рис. 1. Векторные диаграммы нагрузок на коренную шейку ($T - Z$) между первым и вторым кривошипами двигателя 4ЧН10,5/12,7 при работе всех цилиндров (1) и отключении второго и третьего цилиндров (2) (газообмен отсутствует) [3]

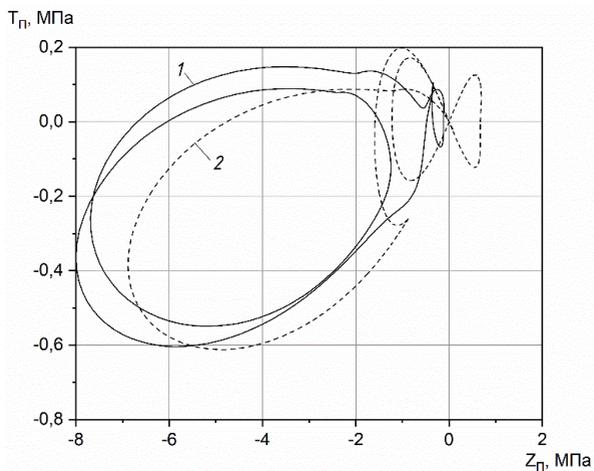


Рис. 2. Векторные диаграммы нагрузок на коренной подшипник ($T_{п} - Z_{п}$) между первым и вторым кривошипами двигателя 4ЧН10,5/12,7 при работе всех цилиндров (1) и отключении второго и третьего цилиндров (2) (газообмен отсутствует) [3]

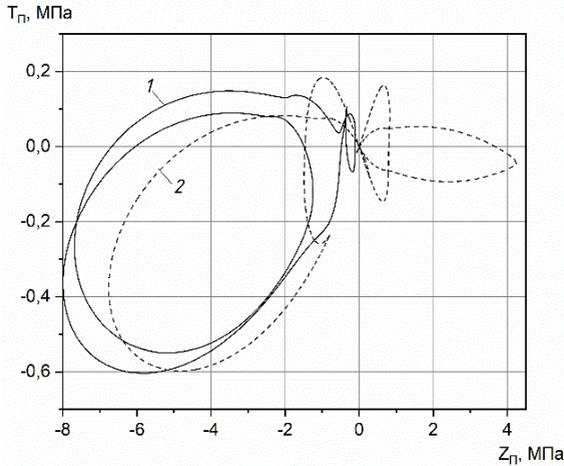


Рис. 3. Векторные диаграммы нагрузок на коренной подшипник ($T_{\text{П}} - Z_{\text{П}}$) между первым и вторым кривошипами двигателя 4ЧН10,5/12,7 при работе всех цилиндров (1) и отключении второго и третьего цилиндров (2); (газообмен присутствует) [3]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ратушный В.М.* Некоторые проблемы разработки двигателей с отключаемыми цилиндрами / В.М. Ратушный, А.И. Яманин // Семьдесят первая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 18 апреля 2018 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. 996 с. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. *Горбунов В.В.* Влияние отключения цилиндров дизеля ЯМЗ-8401 на его вибрацию и топливную экономичность / В.В. Горбунов // Вестник РУДН. Сер. 1, Инженерные исследования. 2004. № 1. С. 54-56.
3. *Яманин А.И.* Особенности динамики двигателей с отключаемыми цилиндрами / А.И. Яманин // Сборник докладов 8-й Международной конференции «Актуальные вопросы морской энергетики». Санкт-Петербург: СПбГМТУ, 2019. С. 175-179.

ПРИМЕНЕНИЕ ЧУГУНОВ С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ ГРАФИТОМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОРШНЕЙ ГАЗОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Д.А. Романычев, А.А. Павлов

Научный руководитель – **А.А. Павлов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается возможность применения чугуновых сплавов с вермикулярным графитом для создания поршней высокофорсированных двигателей внутреннего сгорания. Дальнейшее совершенствование поршней и достижение высоких прочностных характеристик в совокупности с требуемыми массово-габаритными показателями стало возможным с развитием литейных технологий и способов проектирования с применением технологий САПР. В результате разработана конструкция монолитного чугунового поршня с диаметром 140 мм.

***Ключевые слова:** чугуновый поршень, газовый двигатель, проектирование, литейные технологии.*

APPLICATION OF CAST IRON INCLUDING VERMICULAR GRAPHITE FOR A PISTON OF GAS ENGINE CREATING

D.A. Romanychev, A.A. Pavlov

Scientific Supervisor – **A.A. Pavlov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The possibility of using cast iron alloys with vermicular graphite to create pistons of highly accelerated internal combustion engines is considered. Further improvement of the pistons and the achievement of high strength characteristics in combination with the required mass-dimensional indicators became possible with the development of casting technologies and design methods using SADTP technologies. As a result, the monolithic cast iron piston with a diameter of 140 mm is designed.

***Keywords:** cast iron piston, gas engine, design, foundry technologies.*

Основной целью развития современного двигателестроения является создание двигателей всё большей мощности и всё меньшего удельного веса на единицу мощности, а также снижение вредных выбросов и шума. Поршень является ответственной деталью двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и все требования к двигателю частично переходят на поршневую группу. Увеличение мощности двигателя означает для поршня обеспечение более высоких термо-прочностных требований, устойчивости против изменения конфигурации внешней формы, снижения трения и шума в работе ДВС. Традиционно поршни изготавливают литьём в кокиль или штамповкой [1], например, из материалов: АЛ 25 ГОСТ 2685-75, АК 6 ГОСТ 4784-97, для двухтактных дизелей также применяют легированные чугуны СЧ 24, СЧ 45, ВЧ 45-5. В составных поршнях для головки поршня используют стали 20Х3МВФ. В настоящее время остро стоит проблема в обеспечении работоспособности поршня при максимальном давлении сгорания (P_z) до 24 МПа. Стоит отметить, что поршни из силумина сохраняют работоспособность до 20 МПа [1].

Современное литейное производство обеспечивает литье стенки толщиной не менее 6 мм с обеспечением структуры сплава [2]. Структура чугунного сплава обеспечивается технологией модификации и охлаждением. Чугун обладает рядом достоинств: дешевизна, механическая прочность, стабильность геометрических размеров при неравномерном температурном поле, хорошие антифрикционные свойства в сочетании с недостатками, такими как: большой удельный вес и низкая теплопроводность [2].

В рамках настоящей работы, на основе поршня дизельного двигателя 8ЧН14/14, был спроектирован образец поршня, выполненный из чугунного сплава с вермикулярным графитом (ЧВГ). Особенности конструкции являются: стенки и перемычки толщиной 4 мм, оптимальная форма камеры сгорания, наличие полости охлаждения, уменьшенная длина и толщина пальца по сравнению с прототипом. Первой проблемой данного конструкторского решения являлась масса поршня отличная от прототипа. Для решения данной проблемы было применено твердотельное моделирование с подбором параметров. Массовые характеристики прототипа и образца приведены в табл. 1. Эскиз поршня-прототипа показан на рис. 1. Эскиз проектируемого поршня показан на рис. 2.

Таблица 1 - Массовые характеристики деталей

Деталь	Массы поршня-прототипа, кг	Массы нового поршня, кг
Поршень	3,160	3,606
Палец	1,765	1,286
Поршень с пальцем в сборе	4,925	4,892

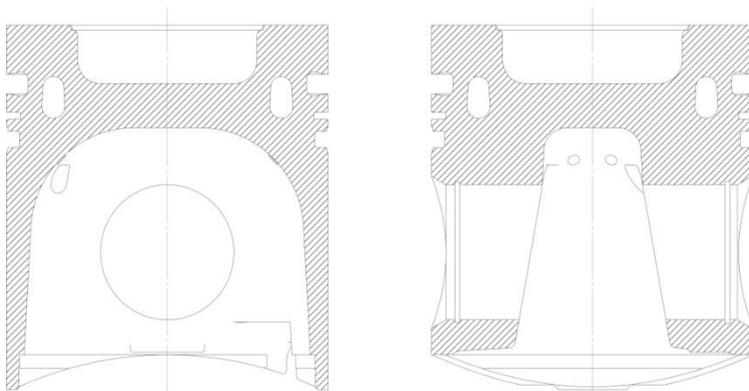


Рис. 1. Эскиз прототипа

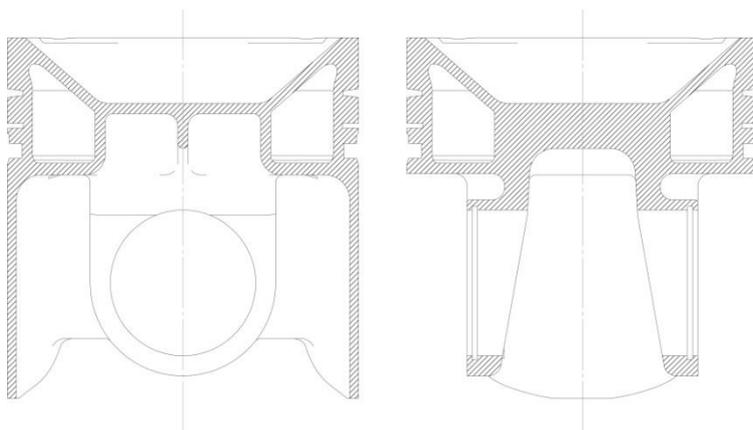


Рис. 2. Эскиз проектируемого поршня

В результате работы была создана конструкция поршня. Предложенное решение может быть использовано в двигателях типа 8ЧН14/14 и ему подобных. При этом масса поршневого комплекта не изменяется, что предполагает низкое влияние масс на динамику двигателя. Стоит отметить, что при разработке замены необходимо обратить внимание на обеспечение необходимой степени сжатия и оптимизации системы масляного охлаждения поршня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструирование двигателей внутреннего сгорания / Н.Д. Чайнов, Н.А. Иващенко, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков; М.: Машиностроение, 2008. 496 с.
2. *Марукович Е.И.* Литейные сплавы и технологии / Е.И. Марукович, М.И. Карпенко. Минск: Беларус. Навука, 2012 442 с.

УДАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ФОРСУНКАХ ДИЗЕЛЕЙ

А.И. Стукова, А.П. Перепелин

Научный руководитель – **А.П. Перепелин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Данная статья посвящена численному исследованию ударных процессов в форсунках дизелей.

Ключевые слова: удар, упругие волны, контактная сила, распылитель, форсунка, дизель.

IMPACT PROCESSES IN DIESEL INJECTORS

A.I. Stukova, A.P. Perepelin

Scientific Supervisor – **A.P. Perepelin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This article is devoted to numerical analysis of impact processes in diesel injectors.

Keywords: impact, elasticwave, contactforce, nozzle, injectors, diesel.

Продолжительность работы распылителей форсунок дизелей в значительной степени зависит от износа запирающих конусов распылителя, вызываемого усталостными разрушениями при ударе иглы распылителя о седло. Поэтому при выборе конструктивных параметров распылителей необходимы расчетное и экспериментальное исследования ударных процессов в форсунках.

Принципиальной особенностью ударных процессов в форсунках является распространение волн деформации по ударяющему ступенчатому стержню, включающему иглу распылителя и штангу, и ударяемому, состоящему из нижней части корпуса распылителя. Поэтому при расчете ударных процессов в форсунке рассматривался продольный удар упруго-

го ступенчатого стержня о запирающий конус распылителя с учетом местных деформаций в зоне контакта запирающих конусов.

В процессе удара происходит внедрение запирающего конуса иглы в седло. Наличие местных деформаций в зонах контакта запирающих конусов определяет изменение контактной силы в процессе удара и оказывает влияние на его продолжительность. Зоны местных упругих деформаций при расчете представляются как невесомые пружины, деформации которых соответствуют разности смещений соударяющихся стержней. Для учета местных деформаций необходимо знать зависимость между величиной упругой деформации и контактным усилием.

Герц показал, что если соударяющиеся тела имеют сферическую форму, то с увеличением деформации x сила упругого взаимодействия будет равна:

$$F = cx^{3/2},$$

где c – коэффициент, зависящий от радиусов соударяющихся тел и их материалов.

Модель Герца применима только к абсолютно упругому удару. Имеются обобщения модели Герца путем введения в нее сил вязкого трения [2] и сил сухого трения [3] между частицами соударяющихся тел в зоне контакта. В этих работах обосновывается увеличение сил трения пропорционально упругой силе взаимодействия тел cx^n .

Поэтому для проведения расчетов была использована модель, позволяющая учитывать как вязкие силы, так и силы сухого трения:

$$F = cx^n(1 + b \cdot dx/dt + d \cdot \text{sign}(dx/dt)),$$

где b -коэффициент жидкостного трения;
 d -коэффициент сухого трения.

Расчеты при отсутствии трения приводили к непрерывной последовательности абсолютных ударов. Поэтому в расчет был введен коэффициент жидкостного трения, определенный на основе анализа осциллограмм перемещения иглы после посадки ее на седло. Рассматривалось последовательное затухание отскоков иглы от седла. Сухое трение учитывать нецелесообразно, так как запирающие конуса всегда находятся в топливе. Авторами получена экспериментальная зависимость между упругой деформацией и контактным усилием в зоне запирающих конусов распылителя. Обработкой опытных данных были определены значения коэффициента c для основных моделей распылителей. Показатель степени n получился равным 1,4.

Расчетные зависимости силы удара от времени для основных видов форсунок с пружинным запираем иглы, имеющих различную массу подвижных деталей и скорость при ударе, показаны на рис. 1.

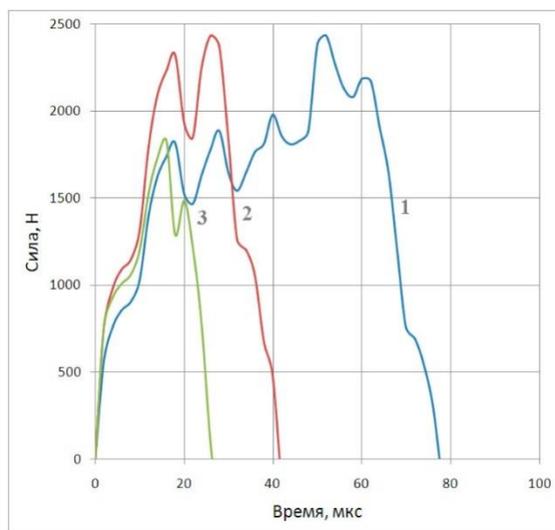


Рис. 1. Зависимость силы удара иглы распылителя о седло в форсунках с пружинным запираем иглы от времени:

- 1 – форсунка дизеля ЯМЗ-236 ($M=25$ г, $V=2,2$ м/с);
- 2 – форсунка дизеля КамАЗ-740 ($M=11$ г, $V=2,8$ м/с);
- 3 – форсунка дизеля ЯМЗ-658 ($M=4$ г, $V=4$ м/с)

С уменьшением массы подвижных деталей M увеличивается скорость иглы V в момент ее посадки на седло. Поэтому максимальная контактная сила $F = 2430$ Н будет одинаковой у форсунок с диаметром иглы 6 мм для дизелей ЯМЗ-236 и КамАЗ-740. При этом у последней масса подвижных деталей более чем в 2 раза меньше. Продолжительность удара у форсунки КамАЗ-740 в ~ 2 короче вследствие уменьшения длины ударяющего стержня (отсутствия длинной штанги). У форсунки дизеля ЯМЗ-658, с диаметром иглы 4 мм и $M=4$ г максимальная контактная сила довольно значительная (1830 Н), что объясняется высокой скоростью при посадке (4 м/с). Продолжительность удара будет у нее в $\sim 1,5$ раза короче, чем у форсунки дизеля КамАЗ-740, из-за меньшей максимальной контактной силы и несколько меньшей длины ударяющего стержня. Поэтому целесообразно использовать форсунки с уменьшенным до 4 мм диаметром иглы. Следует отметить, что максимальная контактная сила при уда-

ре у форсунок с пружинным запираем будет в $\sim 6,5-8,5$ больше усилия от начальной затяжки пружины.

В электроуправляемых форсунках аккумуляторных топливных систем (АТС) движение иглы к седлу происходит с постоянной сравнительно невысокой скоростью $V=0,77$ м/с. Поэтому максимальная сила при ударе иглы составляет 690 Н у форсунок с управляющим поршнем (Bosch) и 300 Н у форсунок с камерой управления над иглой (Delphi). После достижения максимального усилия при ударе его снижения не происходит в отличие от форсунок с пружинным запираем (рис. 2). Это связано тем, что после посадки иглы на седло происходит резкий рост давления в камере управления до давления в форсунке и создается сила, увеличивающая контактное усилие в зоне запирающих конусов. Колебания контактной силы постепенно затухают и сила, действующая на седло, приближается к силе от давления топлива, действующего между циклами подачи. Максимальная сила удара составляет здесь всего $\sim 0,6$ от постоянной силы, действующей на седло. Таким образом, ударные нагрузки на седло распылителя в электроуправляемых форсунках АТС практически отсутствуют.

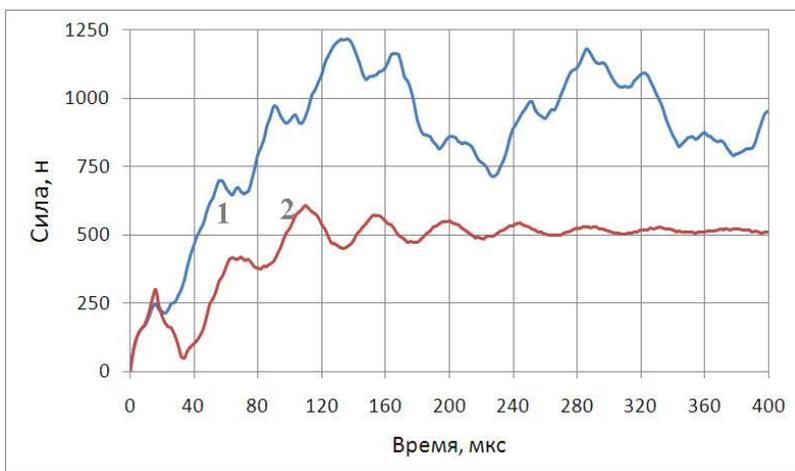


Рис. 2. Зависимость силы удара иглы распылителя о седло в электроуправляемых форсунках АТС при давлении в аккумуляторе 220 МПа и скорости при посадке иглы $V=0,77$ м/с от времени:

- 1 – форсунка Bosch типа CRIN 3.3 с управляющим поршнем ($M=10$ г);
- 2 – форсунка типа Delphi с камерой управления над иглой ($M=3$ г)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алимов О.Д.* Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах / О.Д. Алимов, В.К. Манжосов, В.Э. Кремьянц. М.: Наука, 1985. 357 с.
2. *Hunt K.H., Crossley F.R.E.* Coefficient of Restitution Interpreted as Damping in Vibroimpact. *ASMEJApplMech*, 1975. Pp. 440-445.
3. *Боровин Г.К.* Нелинейная модель коллинеарного удара с сухим трением / Г.К. Боровин, В.В. Лапшин, Е.А. Юрин // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2014. № 46. 14 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Д.Н. Баранов, А.Е. Лебедев

Научный руководитель – **А.Е. Лебедев**, д-р техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрены проблемы, возникающие при разрушении агрегативно-устойчивых эмульсий. Представлены пути повышения эффективности разрушения эмульсий гидродинамическими способами. Разработан установка для разрушения стойких эмульсий с использованием струйного аппарата.

***Ключевые слова:** разрушение эмульсий, гидродинамика, струйный аппарат.*

THE USE OF HIGH-PRESSURE JET FOR BREAKING OIL-WATER EMULSIONS

D.N. Baranov, A.E. Lebedev

Scientific Supervisor – **A.E. Lebedev**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The problems arising at aggregatively stable emulsions destruction are considered. The ways of increasing the efficiency of emulsion destruction by hydrodynamic methods are presented. A plant for the destruction of stable emulsions using a jet apparatus was developed.

***Keywords:** break up of emulsions, hydrodynamics, jet apparatus.*

Основным параметром, характеризующим устойчивость эмульсии, является агрегативная устойчивость, измеряемую временем до полного расслоения компонентов эмульсии. Механизм образования таких эмульсий окончательно не исследован. В настоящее время принято несколько основных теорий, объясняющих возникновение агрегативной устойчивости эмульсий. Согласно им, для создания агрегативно-устойчивой эмульсии из двух несмешивающихся компонентов, необходимо присутствие

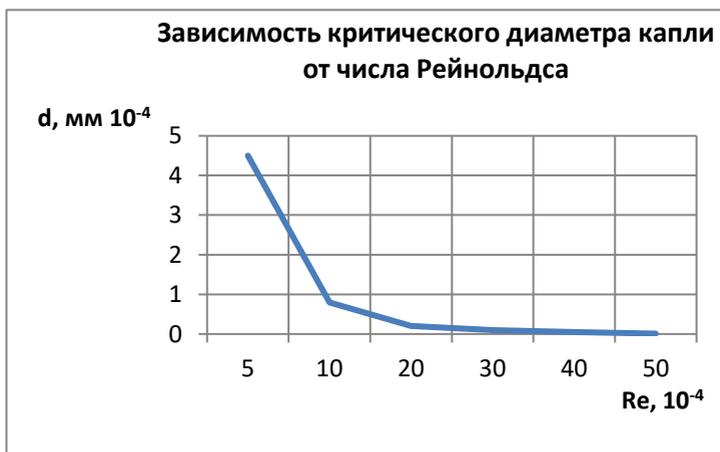
стабилизирующего компонента, способствующего образованию так называемых бронирующих оболочек. К естественным стабилизаторам эмульсий относят содержащиеся в нефти асфальтены, смолы, нафтены и парафины, являющиеся природными ПАВ.

Агрегативная устойчивость большинства водонефтяных эмульсий возрастает с течением времени. Другими словами, на поверхности глобул воды увеличивается слой стабилизирующего компонента и соответственно повышается его механическая прочность. При столкновении таких глобул не происходит их слияния из-за образованной бронирующей оболочки. Для слияния глобул воды слой стабилизирующего компонента должен быть разрушен. Разрушение бронирующих оболочек глобул воды в струе высокого давления происходит благодаря турбулентным пульсациям скорости движущегося потока, масштаб которых λ не превышает критического диаметра капли d_k . Размеры разрушаемых капель и масштаб турбулентных пульсаций должны удовлетворять условиям $\lambda_0 < \lambda \leq d_k$ (здесь λ_0 – внутренний масштаб изотропной турбулентности).

Критический диаметр капли, при которой она не будет разрушаться на составляющие компоненты, находят исходя из соотношения

$$d_{кр} = \frac{19}{v} \left(\frac{\sigma}{\rho_H} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{D}{Re} \right)^{\frac{5}{2}}, \quad (1)$$

Таким образом, при $Re=50000$, $d_{кр}=500$ мкм, при $Re=500000$ $d_{кр}$ менее 1 мкм.



На практике для разрушения таких эмульсий используются различные аппараты, позволяющие создать необходимый турбулентный режим. Однако все они достаточно сложны и трудоемки в эксплуатации. В результате теоретических исследований был разработан метод разрушения стойких водонефтяных эмульсий в струе высокого давления с использованием струйного аппарата, транспортирующего трубопровода, отбойника и отстойного аппарата. Принцип его действия в следующем: эмульсия под давлением закачивается в струйный аппарат с помощью насоса, смешивается с воздушной смесью. Попадая в диффузор смесь, получая еще большее сжатие, распыляется на отбойник и стекает в отстойный аппарат. Соударение частиц смеси со стенками струйного аппарата приводит к разрушению бронирующих оболочек. Распыление на отбойник повышает эффективность разрушения комплексных капель на капли исходных компонентов. Стекая в отбойник, капли разделенных жидкостей оседают.

Эскиз струйного аппарата, используемого в разработанной установке, представлен на рис. 1.

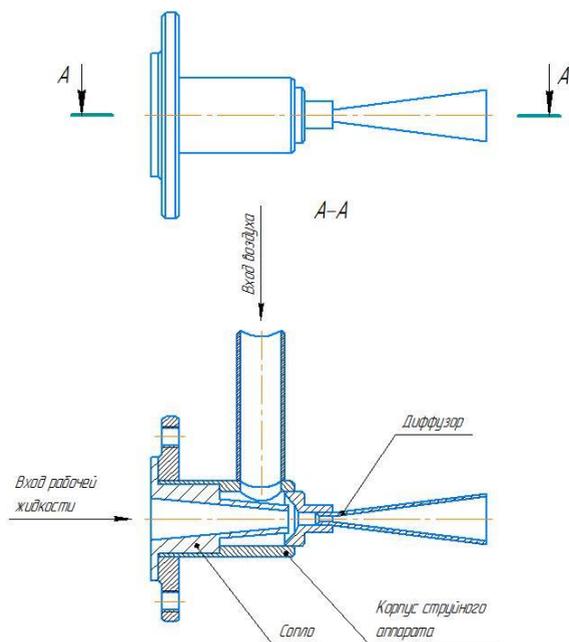


Рис. 1. Эскиз используемого струйного аппарата

Предложенный метод разрушения водонефтяных эмульсий имеет ряд преимуществ перед существующими, как по трудоемкости и стоимости эксплуатации, так и по производительности и времени разделения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зимон А.Д.* Коллоидная химия. М.: Агар. 2001. 320 с.
2. *Фролов Ю.Г.* Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1982. 400 с.
3. *Щукин Е.Д.* Коллоидная химия / Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина. М.: Высш. шк., 1992. 414 с.
4. *Воюцкий С.С.* Курс коллоидной химии. Л.: Химия, 1984. 300 с.

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

П.П. Буданов, А.А. Павлов

Научный руководитель – **А.А. Павлов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается увеличение скоростных показателей автомобиля 2101 для участия в автоспорте. Самый эффективный метод увеличения мощности — это повышение давления впускного воздуха с целью подачи большего количества топлива и, тем самым, мы увеличиваем мощность. Было решено установить турбокомпрессор Toyota ct15 от мотора 1jz и добиться давления наддува 1,5 бара.

Ключевые слова: мощность, наддув, испытания.

DEVELOPMENT OF MEASURES FOR INCREASING THE SPECIFIC CAPACITY OF A CAR ENGINE WITH A FORCED IGNITION

P.P. Budanov, A.A. Pavlov

Scientific Supervisor – **A.A. Pavlov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The speed characteristics increasing of the automobile 2101-type to participate in motorsport are considered. The most effective method of increasing power is to increase the intake air pressure in order to supply more fuel and, thus, the power increases. It was decided to install the Toyota ct15 turbocharger from the 1jz engine and achieve a 1.5 bar boost pressure.

Keywords: power, boost, test.

В любительском автоспорте распространены соревнования на серийных автомобилях. Лидерами являются, как правило, автомобили зарубежных марок, так как отечественные автомобили имеют худшие базо-

вые динамические показатели. Тем не менее при внедрении ряда доработок параметры отечественных автомобилей становятся сопоставимы с зарубежными автомобилями. Особый интерес для модернизации представляет автомобиль Волжского автомобильного завода. В рамках данного проекта для модернизации выбран автомобиль классического семейства ВАЗ-2101. Исходя из всего сказанного, целью работы разработка мероприятий по увеличению мощности российского двигателя.

Базовый 8-клапанный двигатель рабочим объёмом 1,2 л не обладает достаточным потенциалом для форсирования. В результате предлагается использовать двигатель автомобиля ВАЗ-2112. Данный двигатель рядный, 4-цилиндровый 16-клапанный двигатель ВАЗ-2112, рабочим объёмом 1,5 л, развивающий с заводскими настройками максимальную мощность 68 кВт.

Двигатель 2112 предназначен для переднеприводных автомобилей, что накладывает некоторые конструктивные особенности. При установке на заднеприводный автомобиль потребуется изменить конструкцию коленчатого вала, а именно в хвостовой его части необходимо выполнить проточку под подшипник для первичного вала коробки передач, так как длина первичного вала коробки заднеприводного автомобиля в полтора раза больше первичного вала коробки переднеприводного автомобиля и составляет 420 мм, поэтому ему требуется дополнительная точка опоры в коленчатом валу.

Основным мероприятием по увеличению мощности двигателя является установка турбокомпрессора. По расчётам, для обеспечения требуемой мощности необходим ТК, позволяющий добиться необходимого расхода воздуха 0,2 кг/с. Для этого потребуется избыточное давление 0,15 МПа. При этом можно ожидать увеличения мощности на 150%. Анализ предложений на рынке показал, что для этого пригоден турбокомпрессор Toyotaact15 от мотора 1jz. Он же пригоден для использования с двигателем ВАЗ 2112. При установке данного турбокомпрессора и двигателя была предложена схема индивидуального подвода выхлопных газов от каждого цилиндра трубопроводами одинаковой длины и диаметра (рис. 1).

Мощности базовой топливной системы будет недостаточно. Расчётом установлена требуемая производительность, а анализом выявлено, что для этого пригодны форсунки от Subaru WRX STI 565cc и топливный насос Bosch от Volkswagen. Установка таких форсунок потребует изменить алгоритмы системы управления двигателем, а именно продолжительность открытия форсунок, что приведёт к увеличению подачи топлива. Для установки форсунок был разработан и изготовлен переходник, который позволяет установить более мощные форсунки в штатную топлив-

ную рампу. Пролитка на стенде выявила, что характеристики распыла обеспечивают полное попадание топливного факела на впускной клапан двигателя, из-за чего следует ожидать приемлемые характеристики смесяобразования.



Рис. 1. Подключение турбокомпрессора

Описанные мероприятия внедрены в конструкцию автомобиля (рис. 2).



Рис. 2. Установленный модифицированный двигатель ВАЗ 2112 в автомобиле ВАЗ 2101

Для проверки мощностных характеристик выполнены замеры ускорения автомобиля до скорости 100 км/ч при помощи специального прибора Racelogic, который измеряет скорость, положение, ускорение и направление автомобиля 10 раз в секунду через систему GPS. Во избежание пробуксовки одного из колёс автомобиля, был заварен дифференциал. Для достижения лучших сцепных свойств колёс с асфальтом были установлены на приводную ось спортивные шины повышенного сцепления ToyoProxes R888 в параметрах 195/50 R15. Проведённый эксперимент установил наилучший показатель разгона до скорости 100 км/ч, который равен 5,6 секунды. С двигателем ВАЗ 2101 такой разгон составлял 25 секунд. Данными мероприятиями динамические характеристики автомобиля улучшились в 5 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Селезнёв К.П.* Теория и расчёт турбокомпрессоров / К.П. Селезнёв, Ю.С. Подобуев, С.А. Анисимов. Л.: Машиностроение, 1968. 406 с.
2. *Ханин Н.С.* Автомобильные двигатели с турбонаддувом / Н.С. Ханин и др. М.: Машиностроение, 1991. 336 с.

УДК 661.666.4

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ РЕАКТОРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ МАРОК ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Д.А. Вилкова, И.С. Гуданов

Научный руководитель – **И.С. Гуданов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Систематизированы данные по реакционному получению техуглерода печным способом. По результатам анализа опыта эксплуатации реакторов различного типа предложена новая конструкция, отвечающая современным требованиям.

Ключевые слова: печной реактор, технически углерод, конструирование.

A NEW REACTOR DESIGN FOR OBTAINING ACTIVE SORTS OF TECHNICAL CARBON

D.A. Vilkova, I.S. Gudanov

Scientific Supervisor – **I.S. Gudanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The data on the reaction of carbon black obtaining by the furnace method were systematized. According to the results of analysis of experience in operation of reactors of various types, a new design has been proposed that meets modern requirements.

Keywords: furnace reactor, carbon black, design.

Технический углерод является высокотехнологичным продуктом химической технологии, постоянно находящий новые области применения. Основное количество выпускаемого печного технического углерода идет на производство резиновых смесей, порошковых и типографских красок, радиоуглеродных композиций. Наибольшим спросом пользуются активные марки техуглерода. Резиновые смеси на его основе идут на изготовление наиболее ответственных элементов автомобильных шин. Это

проявляется в повышенном ресурсе ходимости и высоких эксплуатационных характеристиках продукции. Данный результат достигается за счёт больших капиталовложений в развитие технологии получения техуглерода и совершенствования конструкции реактора.

Печной реактор синтеза техуглерода является ключевым звеном технологической схемы. Находясь в её начале на реактор возлагается целый ряд задач:

- создание высоких температур;
- обеспечение полноты сгорания топлива;
- обеспечение гибкости процесса;
- газонепроницаемость и надёжность в течение длительного времени.

Наиболее крупными отечественными производителями техуглерода являются: АО «ЯТУ им. В.Ю. Орлова», ОАО «Омский завод технического углерода», ОАО «Нижекамск техуглерод». Они же являются лицензиарами технологий и патентообладателями на конструкции печных реакторов. Широкое применение нашли многоканальные реакторы (патент), проточные реакторы (патент), циклонные реакторы (патент). Общим для перечисленных конструкций является наличие стального газонепроницаемого корпуса переменного сечения, имеющего изнутри несколько слоёв футеровки из огнеупорных материалов. По длине печного реактора можно выделить следующие функциональные зоны: загрузки, горения, смешения, реакции, предзакалки и закалки. Данные зоны могут иметь различное конструктивное и материальное исполнение в зависимости от целеполагания. Для сжигания газа используются горелочные устройства различных типов, но все они предусматривают смешение с подогретым воздухом среднего давления. Зона смешения имеет различные варианты сужения и оснащается как ультразвуковыми, так и механическими пневматическими сырьевыми форсунками. При всем этом предполагается достижение за счёт конструкции реактора следующих показателей техуглерода:

- высокой адсорбционной поверхности (110-150 м²/г);
- высокой структурности;
- высокой прочности;
- стойкости к комкованию;
- высокой твердости;
- большого запаса свободной поверхностной энергии.

В рамках данной НИРС была предложена принципиально новая конструкция печного реактора, которая вобрала в себя последние достижения науки и техники и содержит новаторские технические решения. Принципиальная конструкция изображена на рис. 1.

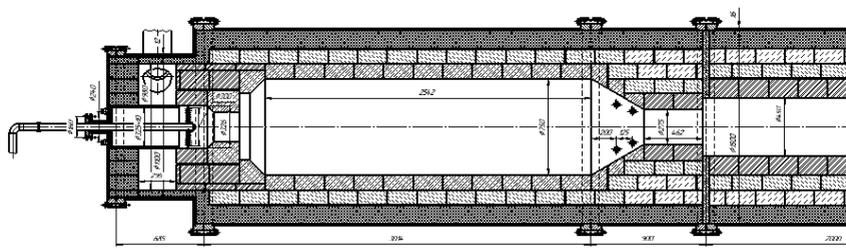


Рис. 1. Фрагмент конструкции большегрузного печного реактора для получения активных марок технического углерода

Одним из нововведений предлагаемой конструкции стало увеличение зоны горения до объема, обеспечивающего полноту сгорания топлива. Диаметр зоны реакции выбран таким, чтобы потоки пламени не вносились в нее на прямую. Для турбулизации раскаленных газов перед смешением с сырьем сделан конический переход с резким уменьшением площади пропускного сечения. В результате этого возникают высокие сдвиговые усилия газового потока, которые позволяют снизить требования к качеству диспергирования сырья форсунками.

Внедрение циркониевых огнеупоров позволило увеличить температуру камере горения реактора с 1830-1850 °С до 1960-1990 °С и, как следствие, повысить выход техуглерода из сырья на 3-4% абсолютных, а также снизить объем образующихся газов, что позволяет дополнительно увеличить нагрузку реактора по сырью.

С появлением возможности увеличения выпуска углерода проблема дефицита сырья решается вовлечением низкосортных высокомолекулярных компонентов, вплоть до мазута. При таком техническом приеме на 6% сократился расход газа, расход воздуха в реактор уменьшился на 7%, а расход закалочной воды на 16%. Исходя из снижения расходов воздуха и воды объем образующихся газов дополнительно снизился не менее чем на 10%. Уменьшение доли газа в техуглеродном аэрозоли имеет большой практический эффект, так как существенно снижается нагрузка на сепарационное оборудование – циклоны и рукавный фильтр. Также в рамках программы повышения эффективности реактора в зоне загрузки было смонтировано горелочное устройство для сжигания вспомогательного сырья.

Подводя итоги разработки новой конструкции печного реактора, отметим, что сокращение топочного газа, воздуха и воды дают экономический результат, имеет место и экономия электроэнергии. Несмотря на высокую стоимость циркониевых огнеупоров простые расчёты показы-

вают, что срок окупаемости футеровки одного реактора составляет не более 1,5 месяца, а межремонтный пробег увеличивается с 1,0 до 1,5 лет.

Данные проектно-исследовательские работы проводились под руководством ООО «ТОГ» и были частично внедрены на ОАО «Омский завод технического углерода».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Орлов В.Ю.* Производство и использование технического углерода для резин / В.Ю. Орлов, А.М. Комаров, Л.А. Ляпина. Ярославль: АР, 2002. 511 с.
2. *Ивановский В.И.* Процессы и аппараты. Дополнительные материалы к учебному пособию. Омск, 2014. 100 с.
3. *Ивановский В.И.* Технический углерод. Процессы и аппараты: Учебное пособие. Омск: ОАО «Техуглерод», 2004. 228 с.

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ КОМПОНЕНТОВ

А.А. Аминова, К.Е. Дуркина, А.Б. Капранова

Научный руководитель – **А.Б. Капранова**, д-р физ.-мат. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Выполнен анализ критериев выбора информационных параметров процесса смешивания сыпучих компонентов щеточными элементами. В том числе описано влияние обобщенных конструктивно-режимных характеристик указанного процесса на эффективность работы аппарата с подвижной лентой и гравитационного смесителя.

Ключевые слова: процесс, смешивание, сыпучая смесь, щеточные элементы, подвижная лента, гравитация, параметры.

THE QUESTION ABOUT THE CHOICE OF THE MIXING PROCESS OF THE BULK COMPONENTS PARAMETERS

A.A. Amineva, K.E. Durkina, A.B. Kapranova

Scientific Supervisor – **A.B. Kapranova**, Doctor of Physics
and Mathematics, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The analysis of the selection criteria for the information parameters of the process of mixing loose components with brush elements is performed. Also, the influence of the generalized design-mode characteristics of this process on the performance of the apparatus with a movable tape and a gravity mixer is described.

Keywords: process, mixing, loose mix, brush elements, mobile tape, gravity, parameters.

Эффективность работы проектируемого смесительного оборудования сыпучих сред напрямую зависит от ряда информационных параметров, определяющих процесс смешивания соответствующих компо-

ентов. Как правило, к набору информационных параметров технологического процесса относятся входные, выходные, конструктивные и режимные. Общие принципы алгоритмизации технологического процесса, выделяемые академиком В.В. Кафаромым, применены в работе [1] для процесса получения однородных сыпучих смесей. К этим принципам относится и ограничение числа степеней свободы процесса. Встает проблема или оптимизации основных параметров изучаемого процесса, или определения рациональных диапазонов их изменения. Задача выбора набора информационных параметров связана с выявлением условий эффективного смешивания, анализ которых целесообразно проводить с помощью обобщенных конструктивно-режимных параметров проектируемого устройства.

На различных этапах формирования инженерных методик расчета смесителей со щеточными элементами (как при построении теоретической базы процесса, так и на этапе ее сравнительного анализа с опытными данными) удается выделить один или два указанных обобщенных параметра. В случае с гравитационным аппаратом [2-4] таковым является степень деформации бил, имеющих винтовую навивку на поверхности вращающегося смесительного барабана, который расположен над наклонным лотком аппарата. При этом навивки выполнены в противоположных направлениях с двух концов барабана. Описанный параметр равен отношению длины бил к высоте зазора между барабаном и направляющим лотком. В случае эксплуатации аппарата с подвижной лентой [5], над которой закреплен вращающийся барабан с однонаправленной навивкой бил, кроме аналогичного параметра вводится фрикционный. Последний связан в инженерной методике расчета параметров смесителя с модифицированным критерием Фруда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капранова А.Б. Основные принципы алгоритмизации математического описания технологических процессов / А. Б. Капранова, А.И. Зайцев. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2013. Ярославль, 2013. 104 с.
2. Капранова А.Б. Стохастическое описание процесса формирования потоков сыпучих компонентов в аппаратах со щеточными элементами / А.Б. Капранова, И.И. Верлока // Теор. основы хим. технологии. 2018. Т. 52, № 6. С. 707-721.
3. Stochastic modeling of bulk components batch mixing process in gravity apparatus / I. Verloka, A. Kapranova, M. Tarshis, S. Cherpitsky // International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET). 2018. V. 9(2). P. 438-444; <http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=9&IType=2>

4. *Kapranova A.* On the features of estimating the coefficient of inhomogeneity of a loose mixture during the operation of a gravitational device / A. Kapranova, I. Verloka // *J. Chem. Eng. Process Technol.* 2018. V. 9. P. 53. (DOI) 10.4172/2157-7048-C3-018.
5. *Капранова А.Б.* Моделирование критерия качества смеси в объеме барабанно-ленточного устройства / А.Б. Капранова, М.Н. Бакин, И.И. Верлока // *Хим. и нефтегаз. машиностроение.* 2018. Т.54. № 5. С. 3-9.

**К АНАЛИЗУ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Д.Д. Бахаева, А.Б. Капранова

Научный руководитель – **А.Б. Капранова**, д-р физ.-мат. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматриваются основные принципы математического моделирования технологических процессов на примере подбора параметров для процесса смешивания сыпучих материалов в смесителях со стационарным режимом работы.

Ключевые слова: моделирование, математическая модель, смешивание, сыпучие материалы, технологические параметры, смесители.

**THE ANALYSIS OF THE BASIC PRINCIPLES
OF MATHEMATICAL SIMULATION OF TECHNOLOGICAL
PROCESSES**

D.D. Bakhaeva, A.B. Kapranova

Scientific Supervisor – **A.B. Kapranova**, Doctor of Physics
and Mathematics, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the basic principles of mathematical simulation of technological processes on the example of the selection of parameters for the process of mixing loose materials in mixers with a stationary mode of operation.

Keywords: modeling, mathematical model, mixing, loose materials, technological parameters, mixers.

Модель (от лат. *modulus* «мера, аналог, образец») – это система, исследование которой является средством получения информации о другой системе, то есть абстрактное представление некоторого реального процес-

са, устройства или концепции. Предназначением модели служит представление определённых аспектов реальности в какой-либо форме (например, в математической, физической, символической, графической или дескриптивной), позволяющее получить ответы на изучаемые вопросы.

Математические модели представляют собой совокупность взаимосвязанных математических и формально-логических выражений, отображающих реальные процессы и явления (например, физические и т. д.). По форме представления бывают: аналитические (поиск решения происходит в виде функциональных зависимостей), численные (решение представляет собой дискретный ряд чисел), формально-логические (описанные на формальном языке) [1].

Основные цели моделирования:

- описание объекта через изучение его структуры и свойств;
- объяснение поведения объекта и способов управления им;
- прогнозирование поведения в результате воздействия на объект.

Модели технологических процессов могут быть:

– детерминированными (описывающие закономерности физико-химических процессов поведения объекта, основанные на факторах, имеющих достаточно точное описание или оценку);

– стохастическими (реальность отображается как случайный процесс, в котором строится прогноз поведения объекта на основе функций распределений параметров, определяющих изучаемые свойства);

– статическими (применение методов математической статистики к входным и выходным параметрам, полученным опытным путем);

– аналитическими (описание поведения объекта с помощью явных аналитических зависимостей);

– численными (исследование поведения объекта с помощью частных решений в конкретных условиях);

– имитационными (имитация поведения объекта с использованием средств ЭВМ).

В качестве примера стохастической модели технологического процесса можно привести математическое описание процесса смешивания сыпучих веществ в виде дифференциальных функций распределения по углам распыливания [2]. Эффективность стохастических моделей в значительной степени определяется качественным выполнением всех этапов эксперимента (выдвижение гипотезы, планирование, проведение, обработка результатов и т.д.).

Математическое моделирование процесса смешивания сыпучих материалов является актуальной проблемой, что объясняется широким

кругом задач проектирования оборудования по переработке указанных сред для химической, фармацевтической, строительной, пищевой и других отраслей промышленности. Сущность механического процесса смешивания сыпучих материалов заключается в перемешивании сыпучих компонентов до требуемой степени однородности. Наибольшее влияние на этот процесс оказывают конструктивные и режимные факторы, поэтому целесообразно провести исследование по выявлению зависимостей выходных переменных от них [3].

Алгоритм технологического процесса в смесителях со стационарным режимом работы включает в себя следующие шаги.

1. В смеситель с множеством конструктивных параметров технологического процесса $a = \{a_{j1} = const\}$, $j_1 = \overline{1, u_1}$ с помощью дозатора подаются два потока сыпучих компонентов: транспортирующий с набором входных переменных $\{x_1(t)\}$ и ключевой $\{x_2(t)\}$ из множества, регламентируемого областью изменения

$X = \{x_1^- \leq x_1 \leq x_1^+; x_2^- \leq x_2 \leq x_2^+\}$ при $x(t) = \{x_1(t), x_2(t)\}$:

$$x_1(t) = \{Q_{m1}(t), \gamma_1(t)\}; \quad (1)$$

$$x_2(t) = \{Q_{m2}(t), \gamma_2(t)\}; \quad (2)$$

где $Q_{m1}(t), Q_{m2}(t)$ - массовые расходы, а $\gamma_1(t), \gamma_2(t)$ - массовые доли компонентов 1 и 2 потоков.

2. Происходит рост поверхностей сдвига s в перерабатываемых материалах при их турбулентных характерах за время смешения τ_s . Этот рост производится при подводе энергии E , которая тратится на: изменение положений частиц, разрыв внутренних связей между ними, диффузный перенос с коэффициентом D , когда в набор режимных параметров $b = \{b_{j2}\}$, $j_2 = \overline{1, u_2}$ с возможным варьированием $b \in B$ включаются $b = \{s, E, D, \tau_s\}$.

3. Готовая смесь из двух компонентов выводится из смесителя с набором выходных переменных $y(t)$ с заданным множеством $Y = \{y_3^- \leq y_3 \leq y_3^+\}$:

$$y_3(t) = \{Q_{m1}(t), Q_{m2}(t), \gamma_1(t), \gamma_2(t), V_c\},$$

когда массовые доли для компонентов потоков 1 и 2 в сыпучей смеси задаются значениями $\gamma_1(t), \gamma_2(t)$ её составляющих при массовых расходах $Q_{m1}(t), Q_{m2}(t)$ и требуемом показателе коэффициента однородности V_c .

Согласно (1) и (2), совокупность входных/выходных переменных, конструктивных и режимных параметров представляет собой множество информационных $z(t) = \{x(t), y(t), a, b\}$:

$$z(t) = \left\{ \begin{array}{c} \overbrace{Q_{m1}(t), Q_{m2}(t), \gamma_1(t), \gamma_2(t), V_c}^{y(t)}, \\ \underbrace{\{a_{j1} = const\}}_{x(t)}, \\ \underbrace{\{s, E, D, \tau_s\}}_a \\ \underbrace{\hspace{10em}}_b \end{array} \right\}. \quad (3)$$

В частности, в соответствии с (3) можно выбрать число оптимизируемых переменных $S_{\text{ОПТ}} = 2$ для $\{a, Q_{m2}(t)\}$ с поиском пяти базисных $\{V_c, s, E, D, \tau_s\}$. Кроме того, следует учитывать, что a может быть не одним конструктивным параметром, а целым их набором при $j_1 = \overline{1, u_1}$ [4, 5].

Таким образом, математическое моделирование процесса смешивания сыпучих материалов является оптимальным методом повышения эффективности процессов дозирования и смешивания позволяющее:

- разрабатывать новые способы и устройства для экспериментального определения кинематических коэффициентов внутреннего трения сыпучих материалов;
- совершенствовать энергетический подход к описанию движения сыпучих материалов в сложных силовых полях;
- проводить исследования по организации упорядоченного смешивания компонентов, как склонных, так и не склонных к сегрегации [2];
- провести исследования весового порционного дозирования с целью повышения точности двух- [5] или трехстадийного [2] весового непрерывного дозирования сыпучих материалов и упрощения аппаратурного оформления данной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уёмов А.И. Логические основы метода моделирования / А.И. Уёмов. М.: Мысль, 1971. 311 с.
2. Капранова А.Б. Стохастическое описание процесса формирования потоков сыпучих компонентов в аппаратах со щеточными элементами / А.Б. Капранова, И.И. Верлока // Теор. основы хим. технологии. 2018. Т. 52, № 6. С. 707-721.
3. Капранова А.Б. Основные математические способы проектирования технологических процессов: Учеб. пособие / А.Б. Капранова. Ярославль: Издат.дом ЯГТУ, 2014. 176 с.
4. Жиделева Ю.С. О выборе информационных переменных некоторых механических технологических процессов / Ю.С. Жиделева, О.А. Аверьянова, А.Б. Ка-

пранова // Юбилейная 70–я всеросс. науч.-техн. конф. ЯГТУ студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием: сб. материалов конф.: В 3 ч. Ч. 2 [Электронный ресурс]. Электронные текстовые данные. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2017. 791 с.

5. *Капранова А.Б.* Основные принципы алгоритмизации математического описания технологических процессов: Учеб. пособие / А.Б. Капранова, А.И. Зайцев. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2013. 104 с.

О СПОСОБЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СЖАТИЯ СТРУИ ЖИДКОСТИ

А.С. Брыкалов, А.М. Мельцер, С.В. Неклюдов, А.Б. Капранова

Научный руководитель – **А.Б. Капранова**, д-р физ.-мат. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Предложен способ моделирования коэффициента сжатия струи жидкости в форме модифицированного выражения А.Д. Алытчуля с учетом степени открытия осевого клапана и набора конструктивных параметров его сепаратора жидкостной среды.

Ключевые слова: кавитация, осевой клапан, коэффициент гидравлического сопротивления, коэффициент сжатия струи.

THE METHOD OF SIMULATION OF THE COEFFICIENT OF LIQUID FLOW COMPRESSION

A.S. Brykalov, A.M. Melzer, S.V. Neklyudov, A.B. Kapranova

Scientific Supervisor – **A.B. Kapranova**, Doctor of Physics
and Mathematics, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

A method for simulating the compression ratio of a liquid flow in the form of a modified expression of A.D. Alsitul is proposed taking into account the degree of opening of an axial valve and a set of design parameters of its fluid separator.

Keywords: cavitation, axial valve, hydraulic resistance coefficient, coefficient of compression of a liquid flow.

Вопросы оценки коэффициента гидравлического сопротивления имеют особую актуальность при стохастическом моделировании процесса образования кавитационных пузырей в проточной части регулирующего клапана и последующей разработке инженерной методики его расчета. Указанная актуальность подтверждается соответствующими функ-

циональными зависимостями между пропускной способностью клапана и коэффициентом гидравлического сопротивления для проходного сечения [1]. Реализация процесса дросселирования потоков рабочей жидкостной среды предполагает их истечение из суживающихся каналов. Известно, что плоская форма данных каналов при турбулентном течении жидкости допускает применение формулы Борда [1] при расчете описанного коэффициента, в которой присутствует коэффициент сжатия струи. Последний параметр имеет несколько эмпирических интерпретаций для оценки, в частности, авторства А.Д. Альштуля, В.В. Ведерникова, К.В. Химицкого [1, 2]. Все эти оценочные формулы связывают коэффициент сжатия струи с со степенью ее сжатия, как отношением площадей сечений суженного к начальному.

Предлагается при расчете гидравлического сопротивления [3] в режиме турбулентного движения жидкости для сечения дроссельного канала в сепараторе осевого клапана площадь сечения широкого условного канала вычислить через внутренний и внешний диаметры выходного сечения делителя потока с учетом кольцевого и щелевого течений среды. При этом зависимость коэффициента сжатия струи принимает форму модифицированного выражения А.Д. Альштуля, в котором степень сжатия струи является функцией от степени открытия клапана и рассчитывается в зависимости от набора конструктивных параметров сепаратора. К последним относятся: его внутренний и внешний диаметры, толщина, число дроссельных отверстий в одном ряду и соответствующее дуговое расстояние между ними, число этих рядов, диаметр дроссельных отверстий, расстояние между их рядами. Данный способ расчета используется при вычислении коэффициента гидравлического сопротивления в переходной области течения среды и применяется при моделировании энергии стохастического движения кавитационных пузырей в осевом клапане [4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арзуманов Э.С. Гидравлические регулирующие органы систем автоматизированного управления / Э.С. Арзуманов. М.: Машиностроение, 1985. 256 с.
2. О методах расчета гидравлического сопротивления регулирующих органов при транспортировании однокомпонентных сред / А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев, А.М. Мельцер, С.А. Солопов, С.В. Неклюдов // Фундам. исследования. 2016. № 4 (1). С. 52-60. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40125>
3. Qualitative evaluation of the coefficient of hydraulic resistance in the area of the divider of the fluid flow of the axial valve / A. Kapranova, S. Neklyudov, A. Lebedev, A. Melzer // International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET), 2018. V 9(8). P. 153–159. URL: <http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp?JType=IJMET&VType=9&IType=8>

4. Determination of the average parameters of cavitation bubbles in the flowing part of the control valves / A. Kapranova, A. Lebedev, A. Melzer, S. Neklyudov // International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET), 2018. V 9(3). P. 25–31. URL: <http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=9&IType=3>
5. Investigation of the energy of the stochastic motion of cavitation bubbles in the separator of the axial valve, depending on the degree of its opening / A. Kapranova, S. Neklyudov, A. Lebedev, A. Melzer // International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET), 2018. V. 9(8). P. 160–166. URL: <http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp?JType=IJMET &VType=9&IType=8>

**О СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБАХ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
СЫПУЧИХ СМЕСЕЙ НА ПРИМЕРЕ РАБОТЫ
ЩЕТОЧНЫХ УСТРОЙСТВ**

А.А. Воронцов, И.И. Верлока, А.Б. Капранова

Научный руководитель – **А.Б. Капранова**, д-р физ.-мат. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Проанализированы основные современные аналитические способы расчета коэффициента неоднородности сыпучей смеси, которые основаны на результатах теоретических и экспериментальных исследований. Показаны примеры оценки качества смеси с помощью стохастических описаний процесса смешивания сыпучих компонентов в щеточных устройствах.

***Ключевые слова:** коэффициент неоднородности, сыпучая смесь, смеси-тель, щеточные элементы, процесс, модель.*

**THE MODERN METHODS OF QUALITY CONTROL
OF THE BULK MIXTURES ON THE EXAMPLE OF WORK
OF THE BRUSH DEVICES**

A.A. Vorontsov, I.I. Verloka, A.B. Kapranova

Scientific Supervisor – **A.B. Kapranova**, Doctor of Physics
and Mathematics, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The main modern analytical methods for calculating the inhomogeneity coefficient of a loose mix are analyzed, which are based on the results of theoretical and experimental studies. Shown examples of assessing the quality of the mixture using stochastic descriptions of the process of mixing loose components in brush devices.

***Keywords:** heterogeneity coefficient, bulk mix, mixer, brush elements, process, model.*

Оценка качества смеси [1] является актуальной проблемой при разработке конструкций аппаратов для смешивания сыпучих материалов. Известны три способа решения данной проблемы: экспериментальный (с привлечением специальных технических средств оптической, полярографической и т.п. направленности); аналитический (на основе результатов математических описаний процесса получения смеси или опытных данных); компьютерный (с помощью программных продуктов).

К одному из основных этапов формирования аналитических методов оценки качества готовой смеси относится выбор критерия расчета. Как правило, это либо среднеквадратичное отклонение массового содержания ключевого компонента в опытной пробе или коэффициент ее неоднородности. Развитие методов стохастического описания процесса смешивания сыпучих компонентов в их рабочих объемах при образовании разреженных потоков [2-3] позволяет разработать методики расчета последнего коэффициента в зависимости от физико-механических свойств смешиваемых сред и конструктивно-режимных параметров смесителя.

Коэффициент неоднородности сыпучей смеси может быть рассчитан с помощью полученных в соответствующих моделях дифференциальных функций распределения числа частиц по углу их разбрасывания после взаимодействия со щеточными элементами. Например, возможно применение моделей [2-3] для указанных целей [4- 6], если щеточные элементы по отношению к вращающемуся барабану расположены: радиально [4]; с винтовой навивкой в одном направлении [5]; с винтовой навивкой в противоположных направлениях от его торцов [6]. Практическое значение указанных методик занимает особое место при проектировании смесительного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Макаров Ю.И.* Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.А. Макаров. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
2. *Капранова А.Б.* Стохастическое описание процесса формирования потоков сыпучих компонентов в аппаратах со щеточными элементами / А.Б. Капранова, И.И. Верлока // Теор. основы хим. технологии. 2018. Т. 52, № 6. С. 707-721.
3. Stochastic modeling of bulk components batch mixing process in gravity apparatus / I. Verloka, A. Kapranova, M. Tarshis, S. Cherpitsky // International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET), 2018. V. 9(2). P. 438-444; <http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=9&IType=2>
4. Математическая модель механики движения сыпучих материалов в разреженных потоках аппаратов с эластичными рабочими элементами / А.Е. Лебедев, А.И. Зайцев, А.Б. Капранова, И.О. Кузьмин // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. Иваново, 2012. Т. 52, вып. 5. С. 111-113.

5. Капранова А.Б. Моделирование критерия качества смеси в объеме барабанно-ленточного устройства / А.Б. Капранова, М.Н. Бакин, И.И. Верлока // Хим. и нефтегаз. машиностроение. 2018. Т. 54. № 5. С. 3-9.

6. Исследование качества смеси на первой стадии работы аппарата гравитационного типа / А.Б. Капранова, И.И. Верлока, П.А. Яковлев, Д.Д. Бахаева // РХЖ (Журн. хим. общества им. Д.И. Менделеева). 2018. Т. 62, № 4. С. 48-50.

**К РАСЧЕТУ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ УГЛОВ
ПРИ УДАРНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ФАКЕЛА
СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ С ОТБОЙНИКОМ**

П.А. Гусев, К.А. Гуров, А.Б. Капранова

Научный руководитель – **А.Б. Капранова**, д-р физ.-мат. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Анализируются результаты предложенного способа расчета характеристических углов при ударе о наклонную поверхность разреженных факелов сыпучих компонентов, образованных после взаимодействия с гибкими билами. При этом использовано соотношение между коэффициентом восстановления и углом наклона отбойника.

***Ключевые слова:** смешивание, сыпучая среда, удар, отбойник, коэффициент восстановления.*

**CALCULATION OF CHARACTERISTIC ANGLES
BY IMPACT INTERACTION OF THE FLARE OF THE BULK
MEDIUM WITH THE BUMP STOP**

P.A. Gusev, K.A. Gurov, A.B. Kapranova

Scientific Supervisor – **A.B. Kapranova**, Doctor of Physics
and Mathematics, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The results of the proposed method for calculating the characteristic angles upon impacting the inclined surface of the rarefied flares of loose components formed after the interaction from flexible brushes are analyzed. The relationship between the recovery coefficient and the angle of inclination of the bump stop is used.

***Keywords:** mixing, bulk medium, impact, bump stop, recovery coefficient.*

При формировании инженерной методики расчета смесителя сыпучих компонентов, основанного на гравитационном принципе, требуется описание движения сыпучей среды при работе дополнительных смесительных устройств. К последним относятся смесительный барабан с

гибкими билами и наклонная отбойная поверхность. Для формирования математической модели поведения частиц смешиваемых компонентов в разреженных факелах [1, 2], образующихся в рабочем объеме смесителя, необходимо получить зависимость между набором характеристических углов. В частности, выполнение оценки угла отражения для усредненного направления движения разреженного факела после его взаимодействия с наклонной отбойной поверхностью проводится в зависимости от усредненного угла рассеивания для налетающего на данный отбойник потока сыпучего материала. Заметим, что указанный налетающий поток частиц образован после срыва с гибких бил вращающегося барабана, установленного над направляющим лотком гравитационного аппарата. Вычисление искомого угла отражения производится с учетом усреднения по потокам частиц, полученным при срыве с нескольких бил смесительного барабана, а также соотношения между коэффициентом восстановления и углом наклона отбойной поверхности [3, 4]. Максимальное значение угла рассеивания для каждого из смешиваемых компонентов связано с расчетом приращения угла разбрасывания при взаимодействии с гибкими билами вращающегося барабана на основе стохастического подхода. При этом использован набор дифференциальных функций распределения числа частиц по углу рассеивания [1, 2, 5] для множества деформируемых гибких бил смесительного барабана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капранова А.Б. Стохастическое описание процесса формирования потоков сыпучих компонентов в аппаратах со щеточными элементами / А.Б. Капранова, И.И. Верлока // Теор. основы хим. технологии. 2018. Т. 52, № 6. С. 707-721.
2. Stochastic modeling of bulk components batch mixing process in gravity apparatus / I. Verloka, A. Kapranova, M. Tarshis, S. Cherpitsky // International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET). 2018. V. 9(2). P. 438-444; <http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=9&IType=2>
3. Оценка параметра восстановления ударно-взаимодействующих потоков твердых дисперсных сред с наклонным отбойником / А.Б. Капранова, М.Н. Бакин, А.Е. Лебедев, А.И. Зайцев // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технологии. Иваново, 2013. Т. 56, вып. 8. С. 111-113.
4. Капранова А.Б. О способе оценки угла отражения потока сыпучего компонента от отбойной поверхности / А.Б. Капранова, И.И. Верлока // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-29 : сб. трудов 29-й Междунар. науч. конф. в 12 т. Т. 5. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т; Санкт-Петербург: СПбГИ(ТУ), СПбПУ, СПИИРАН; Самара: Самарск. гос. техн. ун-т, 2016. С. 52-55.
5. Kapranova A. On the features of estimating the coefficient of inhomogeneity of a loose mixture during the operation of a gravitational device / A. Kapranova, I. Verloka // J. Chem. Eng. Process Technol. 2018. V. 9. P. 53. (DOI) 10.4172/2157-7048-C3-018.

К РЕГРЕССИОННОМУ АНАЛИЗУ СТЕПЕНИ ОДНОРОДНОСТИ СЫПУЧЕЙ СМЕСИ ПОСЛЕ УДАРА КОМПОНЕНТОВ ОБ ОТБОЙНИК

Я.В. Екимов, И.И. Верлока, А.Б. Капранова

Научный руководитель – **А.Б. Капранова**, д-р физ.-мат. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Анализируются экспериментальные результаты оценки качества смесей при получении регрессионных зависимостей коэффициента неоднородностей от угла наклона отбойной поверхности и других параметров процесса трехстадийного смешивания сыпучих компонентов в аппарате гравитационного типа.

Ключевые слова: смешивание, гравитационный аппарат, сыпучие компоненты, удар, отбойник, уравнения регрессии.

REGRESSION ANALYSIS OF THE UNIFORMITY DEGREE OF A BULK MIXTURE AFTER AN IMPACT OF COMPONENTS WITH THE BUMP STOP

Ya.V. Ekimov, I.I. Verloka, A.B. Kapranova

Scientific Supervisor – **A.B. Kapranova**, Doctor of Physics
and Mathematics, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The experimental results of evaluating the quality of mixtures are analyzed when obtaining regression dependencies of the heterogeneity coefficient on the angle of the bump stop surface and other parameters of the process of three-stage mixing of loose components in a gravity-type apparatus.

Keywords: mixing, gravity apparatus, loose components, blow, bump, regression equations.

Одной из основных задач экспериментального исследования любого технологического процесса является установление факторов и условий, определяющих эффективность выполняемой производственной операции. Для успешной реализации процесса смешивания неувлажненных сыпучих компонентов, относящихся к категории зернистых сред и имеющих I-III класс сыпучести по методике Керра, выполнен ряд опытных

исследований на установке гравитационного типа. Описание данной установки, включающей дополнительные смесительные элементы в виде щеток на вращающемся барабане и наклонные отбойники, приводится в работе [1]. Кроме выявления описанных выше факторов и условий требуется выяснить целесообразность применения трех стадий смешивания зернистых сред [2] для получения смесей с объемно-весовым соотношением 1:10 и более.

В результате выполненных теоретических исследований [3-5] были выявлены следующие значимые параметры процесса смешивания: угловая скорость вращения смесительного барабана с закрепленными на его поверхности щетками, степень деформирования щеточных элементов Δ (как отношение длины била к высоте барабанно-лоткового зазора), ширина навивки бил на поверхности барабана, угол наклона отбойника. Выполнение модельных экспериментов по смешиванию природного песка ГОСТ 8736-93 и манной крупы ГОСТ 7022-97 позволило получить следующие регрессионные уравнения для зависимости коэффициента неоднородности $V_{C\tau}$ от угла наклона отбойника ψ_1 для каждой стадии $\tau=1,2,3$ изучаемого процесса при $\Delta=1,5$ и следующих значениях угловых скоростей барабана: 46 с^{-1} ($\nu=1$) и 49 с^{-1} ($\nu=2$). В частности, получено: $V_{C11}=15-3,6\psi_1+1,6\psi_1^2$; $V_{C12}=13,5-0,4\psi_1-0,07\psi_1^2$; $V_{C21}=12,3-4,3\psi_1+2\psi_1^2$; $V_{C22}=11,4-2,47\psi_1+1,07\psi_1^2$; $V_{C31}=7,9-2,2\psi_1+\psi_1^2$; $V_{C32}=7,05-0,48\psi_1+0,1\psi_1^2$. При росте ψ_1 в пределах (0,87-1,04) рад независимо от стадии значение $V_{C\tau}$ снижается на 0,1 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верлока И.И. Экспериментальные исследования процесса трехстадийного смешивания сыпучих сред 1:10 в разреженных потоках / И.И. Верлока, А.Б. Капранова // *Международ. студ. научн. вестник*, 2015. № 3. С. 199-200.
2. Исследование качества смеси на первой стадии работы аппарата гравитационного типа / А.Б. Капранова, И.И. Верлока, П.А. Яковлев, Д.Д. Бахаева // *РХЖ (Журн. хим. общества им. Д.И. Менделеева)*. 2018. Т. 62, № 4. С. 48-50.
3. Kapranova A. On the features of estimating the coefficient of inhomogeneity of a loose mixture during the operation of a gravitational device / A. Kapranova, I. Verloka // *J. Chem. Eng. Process Technol.* 2018. V. 9. P. 53. (DOI) 10.4172/2157-7048-C3-018
4. Капранова А.Б. Стохастическое описание процесса формирования потоков сыпучих компонентов в аппаратах со щеточными элементами / А.Б. Капранова, И.И. Верлока // *Теор. основы хим. технологии*. 2018. Т. 52, № 6. С. 707-721.
5. Stochastic modeling of bulk components batch mixing process in gravity apparatus / I. Verloka, A. Kapranova, M. Tarshis, S. Cherpitsky // *International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET)*, 2018. V. 9(2). P. 438-444; <http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=9&IType=2>

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ. ИЗМЕНЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСУДОВ И АППАРАТОВ

В.Е. Заболотный, Ю.А. Веткин

Научный руководитель – **Ю.А. Веткин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Представлен список изменений и правок в нормативном документе ГОСТ 34347-2017, а также причины их введения.

***Ключевые слова:** ГОСТ, нововведения, приложения, редакции, новые требования, международные нормы.*

CURRENT STATUS OF REGULATORY DOCUMENTS. CHANGES IN THE FIELD OF DESIGNING VESSELS AND APPARATUS

V.E. Zabolotny, Yu.A. Vetkin

Scientific Supervisor – **Yu.A. Vetkin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The list of changes and revisions in the regulatory document GOST 34347-2017 and the reasons for their introduction are considered.

***Keywords:** GOST, innovations, applications, editions, new requirements, international standards.*

Сосуды и аппараты, работающие под давлением, всегда считались оборудованием повышенной опасности. В связи с этим, к ним предъявляются повышенные требования при изготовлении, монтаже и эксплуатации. Основы разработки данных аппаратов были заложены еще в СССР. Был разработан отраслевой стандарт ОСТ 26-291 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия», последняя редакция которого вышла в 1994 г. В связи с изменениями в законодательстве

отраслевые стандарты утратили силу. Поэтому на замену ОСТ 26-291-94 в 2006 на территории РФ был принят новый нормативный документ – ГОСТ Р 52630-2006. Данный документ основан на вышеупомянутом ОСТе с рядом правок и дополнений. ГОСТ Р 52630 пережил 2 редакции от 2012 и 2015 года.

В настоящее время в связи с образованием таможенного союза и необходимостью соответствия требованиям международного технического регламента, был создан новый нормативный документ. Межгосударственным советом был утвержден ГОСТ 34347-2017. Данный документ введен впервые. Подготовлен на основе ГОСТ Р 52630-2012, с рядом существенных изменений, касающихся улучшения качества и повышения безопасности химического оборудования. Параллельно с ним в силу вступили взаимодополняющие его два документа на расчет сосудов и аппаратов: ГОСТ 34233.[1-12] и ГОСТ 34283.

Рассмотрим наиболее важные нововведения и изменения в ГОСТ 34347-2017.

Впервые оговорено, что ГОСТ 34347 распространяется на аппараты, рассчитываемые по ГОСТ 34233.[1-12] и ГОСТ 34283, то есть никакие другие расчеты, в том числе по европейским и американским нормам, не допускается использовать для обоснования надежности сосудов и аппаратов, изготовленных по ГОСТ 34347.

Уточнен выбор расчетной температуры стенки сосуда, которая при положительных температурах равна рабочей температуре стенки.

Сделано уточнение по поводу использования плоских днищ из поковок. Теперь данное требование распространяется только на сосуды 1-4 группы. То есть, для сосудов 5 группы (сосудов, работающих под налив) допускается изготовление плоских днищ из листового проката.

Из ГОСТа убрали требование о недопустимости расположения отверстий на пересечениях швов, так как на самом деле отверстием вырезается пересечение швов и, тем самым, удаляется концентратор напряжения.

При приварке опор и других элементов к корпусу аппарата при наличии разного структурного класса металлов корпуса и опоры, приварку необходимо выполнять через подкладной лист из металла того же структурного класса, что и корпус аппарата.

При подборе опор теплообменников с трубным пучком, необходимо подбирать опору с учетом 1.5 массы пучка в пересчете на продольную силу, во избежание повреждения опоры при извлечении пучка.

В раздел о приварке накладных пластин к корпусам добавлены четкие требования к размерам дренажных отверстий: минимальный диа-

метр отверстия – 6 мм, ширина не проваренного участка сварного шва 15-20 мм.

Добавлен пункт по обязательной теплоизоляции колец жесткости, так как на практике неоднократно наблюдались случаи разрушения частично теплоизолированных колец жесткости, в следствии значительных температурных напряжений.

Введено требование о том, что материалы, используемые для изготовления корпусов сосудов и аппаратов, работающих под давлением, должны быть в термообработанном состоянии.

Ужесточены требования к размерам листов для изготовления обечайек сосудов 1, 2 групп (количество продольных сварных швов, минимальная ширина вставки).

Впервые указано, что направление вальцовки листа при изготовлении обечайки, должно проводится только по направлению прокатки.

Запрещено использование заготовок из литья для изготовления фланцев.

Добавлены требования к стыковым швам, перекрываемым угловыми швами приварки внутренних и наружных элементов – длина перекрытия не должна превышать 3 ширины шва.

Впервые указаны требования по точности швов биметаллических сосудов.

Касаемо термической обработки сварных швов из низколегированных кремний марганцовистых сталей введено важное уточнение. При проведении сопутствующего подогрева толщина стенки аппарата, не требующая термообработки при сварке увеличена до 38 мм.

Добавлено требования обязательного 100% контроля сварных швов УЗК или РД в сосудах с быстросъемными крышками.

Добавлено требование к классу точности манометров (класс не ниже 1.5), используемых при проведении испытаний сосудов и аппаратов.

Добавлена формула расчета для пневматических испытаний криогенных сосудов.

Добавлено новое приложение – «Испытания металла и сварных соединений на ступенчатое охлаждение», что является важным для сосудов, работающих в условиях колебаний высоких температур.

Введено важное дополнение в паспорта сосудов. При выборе формы паспорта, в соответствии с новым ГОСТ, необходимо руководствоваться не рабочим, а расчетным давлением, что отражено в названии паспорта.

Для сосудов, работающих с расчетным давлением свыше 0,05МПа и вакуумом в форму паспорта добавлен раздел «Испытания сварных соединений».

Данные изменения являются результатом многолетнего опыта и отражают текущую степень развития данной отрасли в целом и направлены на увеличение безопасности вновь изготавливаемого оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 34347-2017. 104 с.
2. ГОСТ Р 52630-2012. 83 с.
3. ОСТ 26 291-94.

ОСОБЕННОСТИ ПРИНЦИПА РАБОТЫ ГРАВИТАЦИОННОГО СМЕСИТЕЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

А.В. Крыцков, И.И. Верлока, А.Б. Капранова

Научный руководитель – **А.Б. Капранова**, д-р физ.-мат. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проанализированы основные принципы работы гравитационного устройства для смешивания не увлажненных сыпучих компонентов в соотношении 1:10 и более, оснащенного дополнительными смесительными элементами. Предложен способ визуализации процесса переработки сыпучих компонентов в данном аппарате с помощью программного 3D-моделирования.

Ключевые слова: сыпучая смесь, гравитационное устройство, щеточные элементы, наклонная отбойная поверхность, процесс, визуализация.

WORKING PRINCIPLE FEATURES OF THE BULK MATERIALS GRAVITY MIXER

A.V. Krytskov, I.I. Verloka, A.B. Kapranova

Scientific Supervisor – **A.B. Kapranova**, Doctor of Physics and Mathematics, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The basic principles of the operation of a gravity device for mixing non-wetted bulk components in a ratio of 1:10 or more are analyzed, equipped with additional mixing elements. A method for visualization of the processing of bulk components in this apparatus using software 3D modeling is proposed.

Keywords: loose mix, gravity device, brush elements, sloping baffle surface, process, visualization.

В процессе получения многих продуктов пищевого, химического, фармацевтического производства и строительной индустрии часто применяются технологические составы, относящиеся к категории сыпучих смесей в регламентируемом соотношении компонентов. От однородности данных рабочих веществ напрямую зависит качество готового продукта. Например, при производстве стекла, ряда пищевых приправ, минераль-

ных удобрений, строительных составов и т.п. требуется объемно-весовое соотношение составляющих разнородных сыпучих материалов 1:10 и более. В том числе для указанных целей используются зернистые материалы с размерами округлых частиц $(1,5-4,0) \cdot 10^{-4}$ м из I-III классов сыпучести по методике Керра [1, 2]. При переработке таких материалов целесообразно процесс их смешивания проводить механическим способом в непрерывном режиме. Осуществление данного процесса смешивания может быть энергетически менее затратным при использовании скольжения сыпучих компонентов по направляющим наклонным лоткам под действием силы тяжести. При этом возникает две основные сложности: предотвращение сегрегационных эффектов и реализация порционного дозирования смешиваемых сыпучих компонентов. Как показали выполненные исследования указанного процесса [3, 4], решение данных задач связано: (1) с выбором типов дополнительных смесительных устройств, гарантирующих качественное смешивание на лотках, и (2) с разработкой способа добавления порций компонента с большим содержанием (ключевого компонента) в готовой смеси в сыпучий продукт на промежуточных этапах получения регламентного состава. Первая задача решается с помощью дополнительных устройств двух видов: а) щеточных элементов, закрепленных по винтовой линии на вращающихся барабанах, которые установлены над каждым лотком; б) наклонных отбойников, испытывающих удар разреженных потоков частиц разносортных компонентов. Вторая задача предполагает расчет объемов порций ключевого компонента и добавление последних на лотки [5] при переходе на новый этап. В работе показана целесообразность применения трех таких этапов согласно выполненной визуализации исследуемого процесса с помощью 3D-САПР Autodesk Inventor professional 2018.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукьянов П.И. Аппараты с движущимся зернистым слоем. Теория и расчет / П.И. Лукьянов. М.: Химия, 1974. 184 с.
2. Капранова А.Б. Механическое уплотнение тонкодисперсных материалов / А.Б. Капранова, А.И. Зайцев. М.: Экон-информ, 2011. 247 с.
3. Верлока, И.И. Экспериментальные исследования процесса трехстадийного смешивания сыпучих сред 1:10 в разреженных потоках / И.И. Верлока, А.Б. Капранова // Междунар. студ. научный вестник, 2015. № 3. С. 199-200.
4. Капранова А.Б. Об оценке содержания ключевого компонента после ударного рассеивания сыпучих материалов на начальном этапе порционного смешивания / А.Б. Капранова, И.И. Верлока // Вестник ИГЭУ. № 3. 2016. С. 78-83.
5. Пат. 2586126 РФ, МПК В01F3/18. Смеситель сыпучих материалов гравитационного типа / А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев, А.Б. Капранова, И.И. Верлока. Оpubл. 10.06.2016. Бюл. № 16.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КОНСТРУКЦИИ ОСЕВОГО КЛАПАНА С ПОВОРОТНЫМ ЗАПИРАЮЩИМ ОРГАНОМ

М.Ю. Куликовский, А.Е. Лебедев, А.Б. Капранова

Научные руководители –

А.Е. Лебедев, д-р техн. наук, доцент;
А.Б. Капранова, д-р физ.-мат. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Представлена краткое описание конструктивных особенностей регулирующего клапана прямооточного типа с поворотным запирающим органом, выполненным в виде коаксиального цилиндра по отношению к цилиндрическому сепаратору, с эллиптической формой дроссельных отверстий.

***Ключевые слова:** регулирующий клапан, процесс, дросселирование, сепаратор, запирающий орган, дросселирующие отверстия.*

THE PECULIARITIES OF THE DESIGN OF AXIAL VALVE WITH ROTARY LOCKING MEMBER

M.Yu. Kulikovskiy, A.E. Lebedev, A.B. Kapranova

Scientific Supervisors –

A.E. Lebedev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
A.B. Kapranova, Doctor of Physics and Mathematics,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

A brief description of the design features of a direct-flow control valve with a rotary locking member made in the form of a coaxial cylinder with respect to a cylindrical separator, with an elliptical shape of choke holes is presented.

***Keywords:** control valve, process, throttling, separator, locking member, throttling openings.*

В период санкционной активности в отношении отечественных производителей и потребителей особую актуальность приобретает про-

блема импортозамещения, в том числе трубопроводной арматуры. Противопоставление зарубежным аналогам регулирующих устройств ведущих мировых компаний возможно только на основе системно-структурного анализа процессов, сопровождающих работу данного оборудования. В случае регулирующих клапанов особое внимание уделяется вопросам решения конструктивным способом задачи снижения влияния кавитационных эффектов, возникающих в их проточной части [1]. Эффективное осуществление процесса дросселирования потоков рабочей жидкой среды (когда падение давления потока наблюдается при сужении каналов его истечения) возможно в случае применения осевых клапанов, к преимуществам эксплуатации которых относятся [2]: компактность конструкции, осесимметричность течения, низкий уровень вихреобразования, невысокое гидравлическое сопротивление в сравнении с другими типами регулирующих устройств. Предложенная конструкция регулирующего клапана прямооточного типа [3] включает следующие основные элементы: корпус, входной и выходной каналы с фланцами, сепаратор (делитель потока), запирающий орган, соединенный рычагом с поворотным приводом. Указанный сепаратор представляет собой полый перфорированный цилиндр с дроссельными отверстиями с эллиптической формой, размещенных на поверхности делителя кольцевыми рядами. Причем большие полуоси данных эллипсов расположены вдоль осей рядов. Запирающий орган – тоже цилиндр, внешний коаксиальный к сепаратору. Дополнительная особенность конструктивного исполнения описанных двух элементов – сепаратора (внутреннего цилиндра) и запирающего органа (внешнего цилиндра) – заключается в отсутствии перфорации в их центральных частях, чтобы при повороте внешнего цилиндра относительно оси внутреннего присутствовало несколько стадий открытия клапана: полное закрытие, частичное перекрытие или полное открытие дроссельных отверстий сепаратора. Указанная конструктивная особенность клапана позволяет более плавно регулировать процесс изменения степени его открытия в сравнении с сепараторами, имеющими круглые отверстия [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О способах оценки критических параметров кавитации в регулирующих органах при транспортировании рабочих сред / А.Б. Капанова, А.Е. Лебедев, А.М. Мельцер, С.А. Солопов, Е.М. Серов // *Фундам. исследования.* № 3 (3), 2016. С. 488-494. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40084>
2. *Солопов С.А.* К вопросу о проектировании регулирующих клапанов / С.А. Солопов, А.М. Мельцер, А.Б. Капанова // *Инженерный вестник Дона.* 2015. № 3. URL: www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3069

3. Патент 2618150 РФ, МПК F16K 3/24. Регулирующий клапан прямооточного типа / А.Е. Лебедев, А.Б. Капранова, А.М. Мельцер, С.А. Солопов, Д.В. Воронин, С.В. Неклюдов, Е.М. Серов. Оpubл. 02.05.2017, Бюл. № 13.
4. Конструктивные особенности новых регулирующих клапанов прямооточного типа / А.Е. Лебедев, А.Б. Капранова, А.М. Мельцер, С.В. Неклюдов, Е.М. Серов, Д.В. Воронин // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4090>

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДИСКОВОГО КРИСТАЛЛИЗАТОРА ДЕПАРАФИНИЗАЦИИ МАСЕЛ

А.Н. Малышев, И.С. Гуданов

Научный руководитель – **И.С. Гуданов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается процесс депарафинизации рафинатов селективной очистки. Применение дискового кристаллизатора. Гидродинамика потока сырья в дисковом кристаллизаторе.

Ключевые слова: депарафинизация, дисковый кристаллизатор, метод конечных элементов.

PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OF DISK CRYSTALLIZER FOR OIL DEPARAFFINATION

A.N. Malyshev, I.S. Gudanov

Scientific Supervisor – **I.S. Gudanov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The process of selective refining deparaffination is considered as well as the disk crystallizer application and hydrodynamics of the flow of raw materials in the disk mold.

Keywords: deparaffination, disk crystallizer, finite element method.

Для получения масляных фракций пригодных для применения при отрицательных температурах рафинаты селективной очистки подвергаются депарафинизации. Это достигается путем кристаллизации твердых углеводородов при охлаждении раствора рафината специально подобранным растворителем. Наиболее важным процессом при депарафинизации явля-

ется процесс кристаллизации. Качество получаемого в этом процессе продукта зависит от скорости фильтрования и содержания масла в целевом продукте. Необходимо получить крупные кристаллы правильной формы. Для этого должны быть созданы подходящие условия. Размеры кристаллов зависят от вязкости раствора, скорости его охлаждения и концентрации раствора.

Процесс депарафинизации состоит из следующих основных стадий: растворения сырья, нагрева полученного раствора, охлаждения раствора до температуры кристаллизации, фильтрования.

Исходное сырье (рафинат селективной очистки) насосом через подогреватель и холодильник подается в регенеративный кристаллизатор, где охлаждается в масле. Студнеобразный парафин расплавляется при температуре на 15-20 °С выше температуры плавления, а затем при охлаждении переходит в парафинигольчатой структуры.

По выходу из кристаллизатора первой ступени сырье смешивается с охлажденным фильтратом второй ступени и подается в кристаллизатор второй ступени, охлаждаемый аммиаком или пропаном. Полученная суспензия с твердыми кристаллами направляется в емкость первой ступени фильтрования, а из нее самотеком в барабанный вакуум-фильтр первой ступени. Барабан фильтра частично погружается в суспензию. Парафин осаждается на его поверхности в виде лепешки, а фильтрат просачивается через ткань и по трубкам выводится из барабана под действием вакуума. Далее фильтрат прокачивается через последующие два кристаллизатора и три теплообменника. Полученная суспензия направляется на вакуум-фильтр второй ступени. Образующийся фильтрат собирается в емкости некондиционного масла, а осадок промывается растворителем от остатков масла. Полученное некондиционное масло идет на смешение к сырью в кристаллизатор первой ступени. Полученная после второй ступени суспензия очищается от кристаллов льда и остатков растворителя. Растворитель регенерируется в колоннах по трехступенчатой схеме.

Для депарафинизации масел используются поверхностные кристаллизаторы и кристаллизаторы смешения. Чаще применяются кристаллизаторы с поверхностным теплообменом. Для кристаллизации парафинов применяются скребковые аппараты двух типов: «труба в трубе» и кожухотрубчатые, имеющие площадь поверхности теплообмена от 70 до 340 м². В кристаллизаторах типа «труба в трубе» по внутренним трубам движется охлаждаемый раствор масла, а в кольцевом зазоре между внешней и внутренней трубой противотоками движется охлаждающий фильтрат депарафинизированного масла. Такие регенеративные кристаллизаторы обеспечивают более мягкие условия охлаждения не вызывая получения раствора, поэтому устанавливаются в первой ступени, во вто-

рой ступени устанавливаются кожухотрубчатые кристаллизаторы. Одна труба размещена по центру, а шесть по окружности. В его межтрубном пространстве в качестве хладагента используется аммиак, этан, пропан. По центру трубы находится составной скребковый вал, состоящий из секций.

Особое место в этом ряду занимают дисковые кристаллизаторы. Использование дискового кристаллизатора позволяет снизить себестоимость продукции. Дисковый кристаллизатор является аппаратом с непрерывным технологическим режимом. Он представляет собой горизонтальный цилиндрический аппарат с охлаждающими дисками, внутрь которых в качестве хладагента подается фильтрат - раствор охлажденного депарафинизированного масла. Диски делят аппарат на секции. Сырьё движется в противоточном направлении внутри корпуса, перемещаясь из секции в секцию через зазоры у стенки аппарата или около вала. На каждом диске расположены по два скребка, которыми удаляются образовавшиеся кристаллы.

Интерес к дисковым кристаллизаторам объясняется тем, что в ходе промышленной эксплуатации подтверждены значительные преимущества дискового аппарата и технологии на основе его применения над существующим аналогом - кристаллизатором «труба в трубе» по технологическим, энергетическим показателям и конструктивной надежности. Основные показатели производительности улучшились следующим образом: увеличился выход депарафинизированного масла; снизилось содержание масла в гаче; скорость фильтрования суспензии увеличилась.

Одним из основных параметров управления процессом кристаллизации является скорость охлаждения рафината селективной очистки. Гидродинамический режим перемешивания раствора сырья оказывает непосредственное влияние на кинетику кристаллизации. Для уменьшения скорости охлаждения необходимо внести в конструкцию аппарата изменение – увеличить объем проточной части (рабочей зоны), занятой сырьевым потоком.

Начальным этапом в решении проблемы является изучение гидродинамической картины. Основным инструментом в этом является программно-вычислительный комплекс COMSOL Multiphysics, реализующий концепцию метода конечных элементов. Была создана геометрическая модель потока сырья в дисковом кристаллизаторе с последующей дискретизацией треугольными элементами различных размеров.

Течение описывается уравнениями Навье-Стокса.

На поверхностном графике (рис. 1) показана величина поля скоростей, светлые линии являются линиями тока поля скоростей.

Форма зон рециркуляции, которые визуализируются с помощью линий тока, изменяется с увеличением угловой скорости.

Результаты расчета угловой скорости для 3D модели представлены на рис. 2.

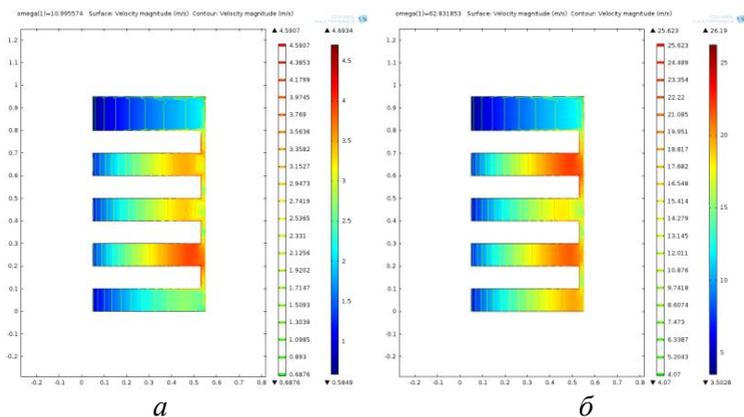


Рис. 1. Результаты расчёта:
a - для угловой скорости $\omega = 3,5\pi$ рад/с;
б - для угловой скорости $\omega = 20\pi$ рад/с

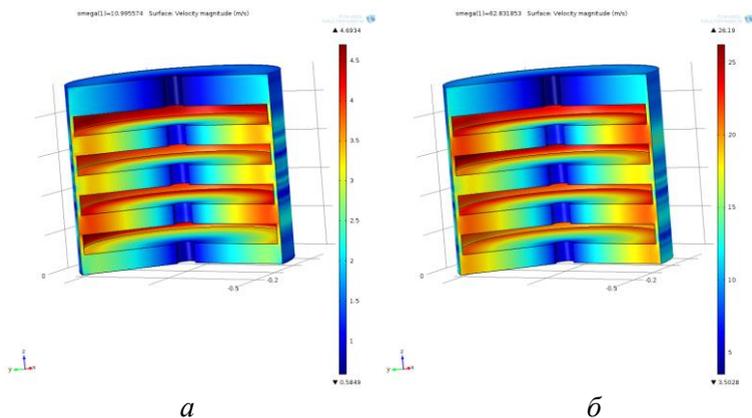


Рис. 2. Результаты расчёта в трехмерном измерении:
a - для угловой скорости $\omega = 3,5\pi$ рад/с;
б - для угловой скорости $\omega = 20\pi$ рад/с

Форма зон рециркуляции, которые визуализируются с помощью линий тока, изменяется с увеличением угловой скорости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимиров А.И.* Основные процессы и аппараты нефтегазопереработки: Учеб.пособие для вузов / А.И. Владимиров, В.А. Щелкунов, С.А. Круглов. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. 227 с.
2. Справочник нефтепереработчика: Справочник / Под ред. Г.А. Ластовкина, Е.Д. Радченко и М.Г. Рудина. Л.: Химия, 1986. 648 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВ МНОГОПОТОЧНОЙ 3D ПЕЧАТИ

А.В. Михрютин, В.В. Михрютин

Научный руководитель – **В.В. Михрютин**, канд. техн. наук,
доцент

Рыбинский государственный авиационный технический университет
имени П.А. Соловьева

В статье производится анализ конструкций устройств для многопоточной печати методом FDM. Предлагается конструкция быстродействующей печатающей головки со сменными экструдерами.

***Ключевые слова:** FDM-технологии, устройства многопоточной печати, многоцветная печать*

MULTITHREAD 3D PRINT DEVICES UPGRADING

A.V. Mikhryutin, V.V. Mikhryutin

Scientific Supervisor – **V.V. Mikhryutin**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University

Paper analyzes the design of devices for multithread printing with the FDM method. A high-speed printhead with interchangeable extruders design is proposed.

***Keywords:** FDM technology, multicolor printing, multiextruder printing.*

Одним из направлений развития современного машиностроения является развитие методов быстрого прототипирования. Наибольшее распространение получила технология FDM (Fusing Deposition Modeling, FDM) – технология послойного наплавления.

Популярность этот метод стал благодаря простоте в сравнении с другими методами печати, требующих использования сложной техники. Путем дальнейшего развития FDM является использование нескольких материалов при печати детали.

Благодаря печати несколькими материалами возможно получить: многоцветные модели из одного материала; модели, построенные из нескольких материалов; модели с растворимой поддержкой; модели, части которых построены с разной точностью при помощи выходных отверстий разных диаметров (оптимизация времени построения). В последнем случае для более ответственных поверхностей используют меньшее сечение сопла, а для меньшей точности – например, для заполнения детали – больший диаметр сопла.

Для печати несколькими материалами используют следующие конструкции, основанные на различных принципах работы, которые можно подразделить на следующие категории.

К первой категории относятся машины, использующие несколько экструдеров, с соплами, расположенными на одном уровне, каждое из которых оснащено отдельными системами подачи пластиковой нити. К этой категории принадлежит, например, конструкция «Chimera» [1]. В этой конструкции две пластиковые нити подаются в два независимо работающих экструдера. В такой конструкции возможна печать материалами с разными температурами плавления.

Похожий принцип используется в устройстве «Kraken» [2], но число сопел в нём увеличено до 4. Также вместо воздушного охлаждения применяется водяное.

Недостатками таких устройств является сложность выравнивания сопел по высоте и возможность порчи детали нерабочим соплом.

Ко второй категории относятся конструкции имеющие подачу нескольких нитей на один экструдер. Одна из печатающих головок этого класса – «Cuclops» [1]. Материал выдавливается через единственный экструдер. Обычно подаётся две – три различных пластиковых нити.

Другие схожие конструкции позволяют использовать большее число нитей и имеют специальные механизмы для смешивания различных пластиков. Тем самым появляется возможность придать пластику практически любой цвет.

Устройства данной категории имеют ряд недостатков. При помощи такой конструкции невозможно печатать материалами с различными точками плавления. Также такие конструкции требуют прочистки экструдера при смене рабочей нити.

К третьей категории относятся конструкции различной сложности с отводом сопел. В [3] при выведении рабочих сопел в активное состояние вначале поворотный механизм выводит сопло в центральное положение и затем оно выдвигается толкателем. При смене рабочего сопла толкатель перемещается вверх и сопло поднимается пружиной. Недостатком данного устройства является низкое быстродействие,

поскольку выдвижение сопла в рабочее положение производится в результате двух последовательных действий – поворота платформы и выдвижения толкателя. При этом платформа является довольно массивной и имеет большой момент инерции, что обуславливает значительные затраты времени на ее разгон и торможение.

В [4] вывод рабочего сопла и отвод неактивного выполняется синхронно при помощи механизма «шестерня-рейка».

В широко известных отечественных принтерах «Пикассо» используется поворотный механизм отвода рабочих сопел [5].

Для устранения перечисленных недостатков предложено быстродействующее устройство многопоточной печати методом FDM, основанное на использовании малоинерционного кулачкового механизма для выдвижения рабочего сопла [6] (рис. 1).

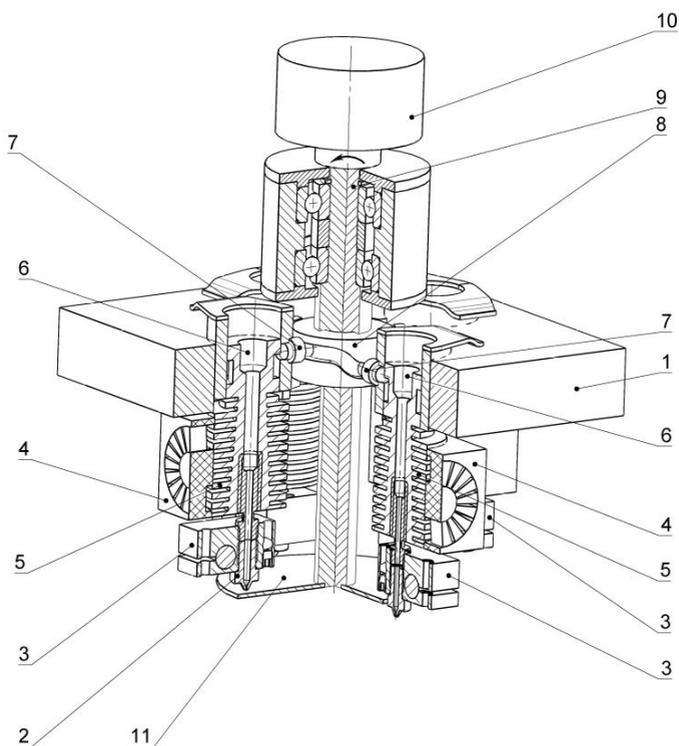


Рис. 1. Предлагаемое устройство

Устройство состоит из корпуса 1, закрепленного на каретке 3D-принтера. В корпусе 1 выполнены направляющие 6 экструдеров 3, расположенные по окружности вокруг поворотного вала 9 с кулачком 8.

При смене рабочего сопла приводом 10 поворачивается вал 9 и кулачок 8 на заданный угол ϕ .

Пальцы 7 при вращении торцевого кулачка 8, в соответствии с профилем его паза, периодически перемещают ползуны 9 с радиаторами 5 и соплами 2, на величину h вдоль оси линейных направляющих 9.

Кулачок 8 имеет профиль пазы, обеспечивающий одновременное выдвижение только одного экструдера.

При этом нерабочие сопла экранируются отсекающим диском 11, предохраняя модель от повреждения за счет случайного вытекания пластика из нерабочего сопла 2.

На рисунке показан вариант устройства для четырех экструдеров, однако число экструдеров может уменьшено или увеличено. Минимальное число экструдеров – два, а максимальное ограничено только допустимыми габаритами устройства. В данной конструкции становится возможным использование полноразмерных экструдеров версии 6.

Использование предлагаемого устройства позволит создать быстродействующую печатающую головку, работающую печать двумя, тремя и большим количеством экструдеров по методу FDM-технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cyclops & Chimera Documentation [Электронный ресурс]. URL: https://wiki.e3d-online.com/Cyclops_%26_Chimera_Documentation. Дата обращения 16.03.2019.
2. Kraken Documentation [Электронный ресурс]. URL: https://wiki.e3d-online.com/Kraken_Documentation. Дата обращения 16.03.19.
3. ZHANG SUJUAN, WANG CHANGQING. Multicolor 3D (Three-Dimensional) printer. Патент CN203713081U. Заявл. 08.02.2014. Оpubл. 06.07.2014.
4. Automatic exchange device for color extrusion systems of 3D printer [Текст]/ XIONG D. Пат. CN105538730 (Китай), МКИ⁷ В29С 67/00; заявитель и патентообладатель. Shenzhen Langu Weiqi Tech Co Ltd.. Заявл. 3.03.2016. Оpubл. 4.05.2016.
5. *Исупов В.В.* Печатающая головка струйного 3D принтера / Полезная модель РФ № 161249, МКИ⁷ В29С 67/00, 2016. Заявл. 04.09.2015, опубл. 10.04.2016. Бюл. № 10.
6. *Михрютин В.В.* Печатающая головка струйного 3D принтера / В.В. Михрютин, А.В. Михрютин Заявка на выдачу патента на полезную модель №2019102635 МКИ⁷ В29С 67/00. Заявл. 31.01.2019.

УДК 621.7

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ТОКАРНОГО ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕНТРА

А.В. Михрютин, В.В. Михрютин

Научный руководитель – **В.В. Михрютин**, канд. техн. наук,
доцент

Рыбинский государственный авиационный технический университет
имени П.А. Соловьева

В статье на основе анализа существующих токарных обрабатывающих центров предлагается новая конструкция, обладающая повышенной жесткостью и виброустойчивостью.

***Ключевые слова:** Токарный обрабатывающий центр, жесткость, виброустойчивость.*

DEVELOPMENT OF A NEW DESIGN OF A MACHINING CENTER

A.V. Mikhryutin, V.V. Mikhryutin

Scientific Supervisor – **V.V. Mikhryutin**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University

Paper analyzes the design of turning milling machines. A design of a machine for compound operations is proposed.

***Keywords:** Turning machining center, stiffness, vibration resistance.*

Одним из направлений развития современного машиностроения является широкое внедрение в производство станков-обрабатывающих центров.

Обрабатывающие центры позволяют концентрировать технологические операции на одном станке. Это дает повысить точность изготовления деталей за счет обеспечения постоянства базирования и

минимизировать затраты времени на транспортировку деталей между станками и их установку.

Одной из наиболее перспективных конструкций токарных обрабатывающих центров являются обрабатывающие центры DMG-MoriSeiki серии NT [1]. Станок реализует ряд передовых конструкторских решений, однако имеет большое число последовательно соединенных подвижных узлов в цепи фрезерной головки, что снижает жесткость и виброустойчивость станка.

Данный станок позволяет выполнять широкий набор операций, в том числе комплексные, получаемые одновременным вращением инструмента и заготовки [2].

Известна конструкция салазок [3], в которой поперечные направляющие установлены на поворотной платформе. Данная конструкция создает трудности в управлении поворотом салазок.

Известна также конструкция [4], имеющая отдельные токарную и фрезерную части. Данное решение значительно увеличивает площадь, занимаемую станком и затрудняет монтаж станка.

В токарном обрабатывающем центре [5] фрезерная головка устанавливается в наклонных направляющих каретки. Недостатком конструкции является значительная высота суппортного узла с инструментальной головкой и большое число последовательно соединенных подвижных узлов что снижает жесткость и виброустойчивость конструкции.

Наиболее перспективным является конструкция станка, предложенного в [6].

Недостатком данного станка является размещение шпиндельной бабки на крестовом столе, что также снижает его жесткость и виброустойчивость.

Для устранения недостатков описанных выше конструкций был предложен токарный обрабатывающий центр [7], в котором шпиндельная бабка установлена в дополнительных линейных направляющих станины, перпендикулярных линейным направляющим станины и суппорта, а шпиндельная инструментальная головка с приводом ее поворота установлена на поперечных салазках.

Предложенный токарный обрабатывающий центр (рис. 1) состоит из станины 1 с продольными линейными направляющими 2 оси Z, в которых установлен суппорт 3. Суппорт 3 имеет поперечные линейные направляющие 4 поперечных салазок 5 оси X. Привод линейных перемещений суппорта 3 и поперечных салазок 5 осуществляется электродвигателями 6 и 7 соответственно.

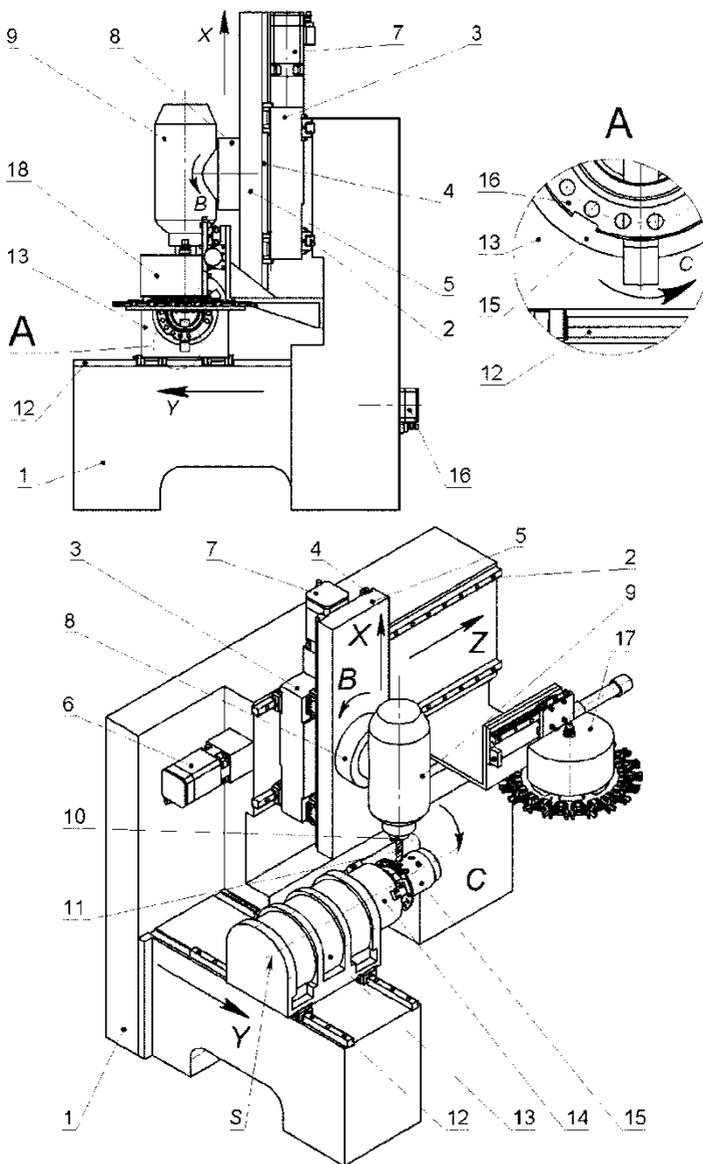


Рис. 1. Токарный обрабатывающий центр

На поперечных салазках 5 смонтирован привод поворота 8 шпиндельной инструментальной головки 9 вокруг круговой оси В. В шпинделе 10 инструментальной головки 9 устанавливается инструмент 11.

Станина 1 имеет также дополнительные линейные направляющие 12 оси Y, расположенные перпендикулярно линейным направляющим 2 станины 1, а также линейным направляющим 4 суппорта 3. В дополнительных линейных направляющих 12 установлена шпиндельная бабка 13 со шпинделем, на котором закреплен кулачковый патрон 14. Вращение шпинделя осуществляется относительно управляемой оси С.

В данном техническом решении последовательно соединены три подвижных узла – суппорт поперечные салазки и поворотная шпиндельная инструментальная головка, а шпиндельная бабка установлена только на одних направляющих, что считается достаточно жесткой конструкцией. Поэтому данное техническое решение позволяет повысить жесткость и виброустойчивость токарного обрабатывающего центра по сравнению с известными конструкциями.

Использование предлагаемого устройства позволит создать токарный обрабатывающий центр для обработки коротких деталей с повышенной жесткостью и виброустойчивостью относительно существующих конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gregory Hyatt, Abhijit Sahasrabudhe / CNC machines, adjustable tools for CNC machines, and methods of operating an adjustable tool on a cnc machine // Патент US20120152069A1. Заявл. 14.12.2011. Оpubл. 21.06.2012.
2. Gregory A. Hyatt, Nitin Chaphalkar / Compound Machining Method and Apparatus// Патент US20170123408A1. Заявл. 11.01.2017. Оpubл. 04.05.2017.
3. Акмаев О. К. Суппорт многоцелевого станка токарной группы / О.К. Акмаев, Б.А. Еникеев // Патент РФ №2452594С1. Заявл. 22.04.2011. Оpubл. 10.06.2012, бюл. № 16.
4. Токарно-фрезерный центр для групповой обработки деталей / А.А. Максименко, Г.В. Кистенев, А.Ю. Кондров, С.Г. Цыбочкин // Патент РФ №2532623С1. Заявл. 12.03.2013. Оpubл. 10.11.2014, бюл. № 31.
5. Курочкин К.А. Токарно-фрезерный обрабатывающий центр / К.А. Курочкин, Кузнецов Е. А., Пронкина В.В. // РПМ № 44560, РФ, 2004, МПК В23В 17/00. Заявл. 15.11.2004. Оpubл. 27.03.2005, бюл. № 9.
6. Zeng Jun /High-precision turning milling and grinding machining center / Zeng Jun. Патент CN106181450А. Заявл. 29.08.2016. Оpubл. 07.12.2016.
7. Михрютин В.В. Токарный обрабатывающий центр / В.В. Михрютин, А.В. Михрютин. Заявка на выдачу патента на полезную модель № 2019104811 МКИ⁷ В23В 17/00. Заявл. 20.02.2019.

ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ СЛЕДОВ В ВЯЗКОУПРУГОМ ПОТОКЕ ПРИ ШТИФТОВОЙ ЭКСТРУЗИИ ПОЛИМЕРОВ

А.В. Новиков, И.С. Гуданов

Научный руководитель – **И.С. Гуданов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Дана оценка современного состояния и уровня развития техники и технологии экструзии полимеров. Изучены гидродинамические особенности штифтовой экструзии на примере модельных каналов.

Ключевые слова: *экструзия, полимеры, штифт, вязкоупругая жидкость.*

STUDY OF TRACK FORMATION IN A VISCOELASTIC FLOW DURING A PIN EXTRUSION OF POLYMERS

A.V. Novikov, I.S. Gudanov

Scientific Supervisor – **I.S. Gudanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The current state and level of development of technology of extrusion of polymers is estimated. The hydrodynamic features of the brad extrusion are studied on the example of model channels.

Keywords: *extrusion, polymers, brad, elasticplastic fluid.*

Экструзия была и остается единственным надёжным способом производства длинномерных профильных изделий из полимерных материалов. Из резиновых смесей с помощью экструзии получают такие погонажные изделия как ленты, протекторные заготовки, боковины, наполнительный шнур и т.д. Соответственно сложность конструкции формирующего инструмента будет определяться геометрией выпускаемого профиля. В рамках настоящей исследовательской работы за основу для рассмотрения выберем широкощелевые головки, для которой в наибольшей степени характерна неравномерность скоростного профиля.

Установка для производства широкополосных профилей содержит червячный экструдер, соединенный формующей головкой. По длине червячного вала экструдера происходит загрузка материала, его пластикация и нагнетание в головку. Для обеспечения нормальной работы установки необходимо, чтобы давление в зоне нагнетания экструдера было больше сопротивления формующих каналов. Таким образом задача конструирования экструзионной головки сводится к подбору такой формы каналов головки, чтобы давящее усилие и потребляемая мощность имели минимальное значение. Профилирование каналов головок сложный много итерационный процесс, основам которого посвящено немало научных публикаций. В данной работе предлагается альтернативный способ воздействия на поток. Установлено что область течения с минимальным сопротивлением обеспечивает большую равномерность потока в выходной щели. Поэтому в качестве модельных рассматривались каналы простых геометрических форм. Для регулирования скорости потока применялись сквозные штифты различных форм.

Моделирование структуры потока в экструзионной головке проводилось с помощью программно-вычислительного средства Comsol, реализующего идею метода конечных элементов. Твёрдотельное моделирование геометрии каналов производилось с помощью САПР начального уровня. Полученная область течения далее была дискретизована симплекс-элементами. Математическая модель включала в себя уравнения движения, неразрывности и реологического состояния. Последнее описывалось уравнение Олдройда.

Отдельные численные результаты представлены на рис. 1 и 2.

Как показывает анализ результатов, наличие штифта пережимает центральную часть потока, перераспределяя её в периферийную часть. Из-за этого в зазоре между штифтом и стенкой возникает область интенсивного сдвига, что дополнительно гомогенизирует и размягчает материал, повышая его текучесть. Глубина распространения следов от препятствия сопоставима с размерами самого штифта, однако они позволяют кардинально изменить гидродинамическую картину, улучшив скоростное распределение вдоль щели. Таким образом, задача профилирования канала головки сведена к более простой задаче формообразования штифта.

Результаты, полученные на модельных каналах, в последующем были успешно интерпретированы и переведены на коллекторные каналы и каналы типа «вешалка» головок реальных промышленных конструкций. Предметом исследований на перспективу могут являться вопросы профилирования штифта и оптимизация его геометрического положения.

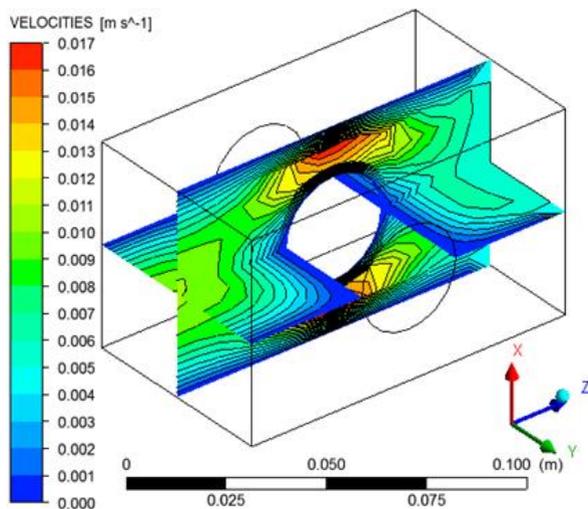


Рис. 1. Изоконтурь скорости в прямоугольном канале

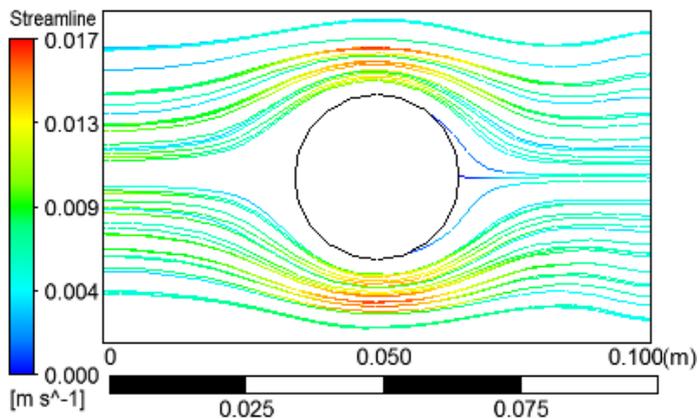


Рис. 2. Линии тока в прямоугольном канале

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ким В.С.* Теория и практика экструзии полимеров. М.: Химия, 2005. 568 с.
2. *Раувендааль К.* Основы экструзии / Пер. 2-го англ. изд. СПб.: Профессия, 2011. 280 с.
3. *Раувендааль К.* Экструзия полимеров / Пер. с 4-го изд. СПб.: Профессия, 2006. 768 с.

К ВОПРОСУ ОБ ОПИСАНИИ КАВИТАЦИОННЫХ ПУЗЫРЕЙ В ФАЗОВОМ ОБЪЕМЕ

А.А. Паутов, И.В. Александров, А.Б. Капранова

Научный руководитель – **А.Б. Капранова**, д-р физ.-мат. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Анализируются в различных фазовых объемах условия описания энергии движения кавитационного пузыря при стохастическом моделировании его эволюции на начальной стадии образования.

Ключевые слова: кавитация, пузырь, модель, фазовый объем, энергия.

THE QUESTION OF THE DESCRIPTION OF CAVITATION BUBBLES IN PHASE VOLUME

A.A. Pautov, I.V. Alexandrov, A.B. Kapranova

Scientific Supervisor – **A.B. Kapranova**, Doctor of Physics
and Mathematics, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The conditions of describing of the energy of motion of a cavitation bubble during stochastic modeling of its evolution at the initial stage of formation are analyzed in various phase volumes.

Keywords: cavitation, bubble, model, phase volume, energy.

Некоторые виды технологического оборудования, связанного с движением жидких рабочих сред, например, турбинные, лопастные, клапанные, винтовые и т.д., в разной степени подвержены влиянию кавитационных эффектов. Опасность проявления последствий кавитации в большинстве случаев связана с нарушением допустимых и экологических норм эксплуатации, режимов нормальной работы данных устройств, эрозийным повреждением их поверхностей и т.п. Однако условия реализации функционального назначения данных устройств не позволяют исключить полностью кавитацию. Это связано с тем, что последняя возникает при резких перепадах давлений потока среды, а назначение указанного оборудования, в частности, регулирующих клапанов, состоит как

раз в понижении давления потока жидкости. Таким образом, перед проектировщиками встает проблема предотвращения подобных явлений путем снижения интенсивности развития кавитационных эффектов.

Пользуясь стохастическим подходом к моделированию процесса образования кавитационных пузырей [1-5] в проточной части осевого клапана, можно получить вероятностные распределения их числа по различным показателям. Особый интерес представляют два из них – размер пузырей и степень открытия клапана. Тогда в зависимости от модели элемент фазового объема выбирается связанным с разным числом фазовых переменных: двумя (радиальной координатой и скоростью центра масс сферического пузыря) [1, 2] или тремя (перечисленными двумя и степенью открытия клапана вдоль оси сепаратора) [3-5]. Для получения указанных распределений требуется смоделировать энергию стохастического движения пузыря в жидкостном потоке, соответствующую начальной стадии гидродинамической кавитации, т.е. всем этапам его образования. К таковым относятся: появление полости, оформление свободной сферической поверхности, заполнение газом и паром при вихревом движении внутренней системы газ-пар, взаимодействие полости и жидкости, движение в потоке. Способ моделирования учитывает физико-механические свойства рабочей среды и конструктивно-режимные параметры проектируемого осевого клапана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Determination of the average parameters of cavitation bubbles in the flowing part of the control valves / A. Kapranova, A. Lebedev, A. Melzer, S. Neklyudov // *International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET)*, 2018. V 9(3). P. 25–31; <http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=9&IType=3>
2. О влиянии пропускной способности осевого клапана на параметры стохастической модели кавитации / А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев, А.М. Мельцер, С.В. Неклюдов // *РХЖ (Журнал хим. общества им. Д. И. Менделеева)*. 2018. Т. 62, № 4. С. 51-53.2.
3. Investigation of the energy of the stochastic motion of cavitation bubbles in the separator of the axial valve, depending on the degree of its opening / A. Kapranova, S. Neklyudov, A. Lebedev, A. Melzer // *International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET)*, 2018. V. 9(8). P. 160–166; <http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp?JType=IJMET&VType=9&IType=8>
4. *Kapranova A.* Stochastic simulation of cavitation bubbles formation in the axial valve separator influenced by degree of opening / A. Kapranova, A. Miadonye // *Journal of Oil, Gas and Petrochemical Sciences*. 2019. V. 2(2). P. 70-75. (DOI) 10.30881/jogps.00026
5. *Kapranova A.* On the influence of the degree of opening of the regulator valve separator on the process of formation of cavitation bubbles / A. Kapranova // *J. Chem. Eng. Process Technol.* V. 9. P. 36. (DOI) 10.4172/2157-7048-C3-016

ОБ УСЛОВНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ РЕГУЛИРУЮЩИХ КЛАПАНОВ ПО РАЗЛИЧНЫМ КОНСТРУКТИВНЫМ ПРИЗНАКАМ

В.А. Рябцев, А.С. Карельская, А.Б. Капранова

Научный руководитель – **А.Б. Капранова**, д-р физ.-мат. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Представлена краткая условная классификация конструктивных решений регулирующих клапанов с учетом способов снижения негативных последствий кавитационных эффектов. В частности, анализируются типы осевых клапанов по видам дросселирующих устройств и запирающих органов.

***Ключевые слова:** смешивание, сыпучие среды, гибкие била, смесительный барабан, разреженный факел.*

CONDITIONAL CLASSIFICATION OF CONTROL VALVES BY DIFFERENT CONSTRUCTIVE SIGNS

V.A. Ryabtsev, A.S. Karelskaya, A.B. Kapranova

Scientific Supervisor – **A.B. Kapranova**, Doctor of Physics
and Mathematics, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

A description of the energy of the stochastic motion of particles of bulk materials that form rarefied flares when interacting with flexible brushes on a rotating drum after leaving the gap between the drum and the movable tape is proposed. The method of fixing the flexible brushes at an angle to the radial direction in alternating rows on the surface of the drum determines the nature of the distribution of particles in the rarefied flares.

***Keywords:** mixing, bulk solids, flexible brushes, mixing drum, rarefied flare.*

Применение регулирующей арматуры не ограничивается только потребностями химического производства и остается актуальным для процессов переработки и транспортирования нефтегазовой продукции, нужд ЖКХ. Разнообразие конструктивных решений для регулирующих клапанов объясняется спектром условий их эксплуатации, в том числе технологическим регламентом, физико-механическими и химическими

свойствами рабочей среды. С точки зрения функционального назначения, клапан – редуцирующее устройство, предназначенное для снижения давления перекачиваемой сжимаемой (газа) или несжимаемой среды с твердыми включениями [1]. Использование переменной проточной формы данного устройства способствует реализации так называемого процесса дросселирования потока, когда указанное падение давления происходит при истечении среды через суживающий канал и увеличении скорости ее движения. Сопровождение этого процесса кавитационными эффектами требует решения проблемы борьбы с нежелательными ее последствиями в виде шумов, вибраций и эрозии внутренних поверхностей [2]. Одним из успешных способов снижения влияния кавитации в клапане является применение прямооточных конструкций, имеющих ряд преимуществ по сравнению с трехходовыми, угловыми, z-образными устройствами [3]. В частности, осевые клапаны можно разделить по двум критериям: виду дросселирующих устройств и виду запирающего органа. Первый уровень классификации имеет, например, не менее пяти подуровней: по форме корпуса, числу ступеней, форме отверстий, степени изменения этой формы отверстий, изгибу внутренних каналов и т.п. Второй уровень делится, как правило, на два подуровня: по виду системы управления (разгруженная и неразгруженная); по типу привода (реечный, стержневой, кривошипно-шатунный). Указанные конструктивные решения [4, 5] способствуют снижению турбулентности потоков и управлению ими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О методах расчета гидравлического сопротивления регулирующих органов при транспортировании однокомпонентных сред / А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев, А.М. Мельцер, С.А. Солопов, С.В. Неклюдов // *Фундам. исследования*. № 4 (1), 2016. С. 52-60. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40125>
2. О способах оценки критических параметров кавитации в регулирующих органах при транспортировании рабочих сред / А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев, А.М. Мельцер, С.А. Солопов, Е.М. Серов // *Фундам. исследования*. № 3 (3), 2016. С. 488-494. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40084>
3. *Солопов С.А.* К вопросу о проектировании регулирующих клапанов / С.А. Солопов, А.М. Мельцер, А.Б. Капранова // *Инженерный вестник Дона*. 2015. № 3. URL: www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3069
4. Анализ устройств для уменьшения давления в регулирующих клапанах / А.Е. Лебедев, А.Б. Капранова, А.М. Мельцер, С.А. Солопов, С.В. Неклюдов // *Современные наукоемкие технологии*. Москва, 2016. № 8 (1). С. 68-71. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36104>
5. Конструктивные особенности новых регулирующих клапанов прямооточного типа / А.Е. Лебедев, А.Б. Капранова, А.М. Мельцер, С.В. Неклюдов, Е.М. Серов, Д.В. Воронин // *Инженерный вестник Дона*. 2017. № 2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4090>

**ПРИМЕНЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА
ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ
В РАЗРЕЖЕННОМ ФАКЕЛЕ**

Д.Д. Бахаева, Д.В. Стенько, А.Б. Капранова

Научный руководитель – **А.Б. Капранова**, д-р физ.-мат. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Предложено описание энергии стохастического движения частиц сыпучих материалов, образующих разреженные факелы при взаимодействии с гибкими билами на вращающемся барабане после выхода из зазора между барабаном и подвижной лентой. Способ закрепления бил под углом к радиальному направлению в чередующихся рядах на поверхности барабана определяет характер распределения частиц в разреженных факелах.

Ключевые слова: смешивание, сыпучие среды, гибкие била, смесительный барабан, разреженный факел.

**APPLICATION OF THE STOCHASTIC APPROACH
TO THE BEHAVIOR OF A BULK MEDIUM WITHIN
EXHAUSTED FLARE DESCRIBING**

D.D. Bakhaeva, D.V. Stenko, A.B. Kapranova

Scientific Supervisor – **A.B. Kapranova**, Doctor of Physics
and Mathematics, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The description of the stochastic motion particles energy of bulk materials forming exhausted flare when interacting with flexible brushes on a rotating drum after leaving the gap between the drum and the movable tape is proposed. The method of fixing the flexible brushes at an angle to the radial direction in alternating rows on the surface of the drum determines the nature of the partition of particles in the rarefied flares.

Keywords: mixing, bulk solids, flexible brushes, mixing drum, rarefied flare.

Для практической реализации процесса смешивания сыпучих материалов может быть использован способ перемешивания в пересекающихся разреженных факелах, которые могут быть, например, образованы

различными щеточными устройствами [1]. Отличительная конструктивная особенность смесительного устройства «барабан-гибкие била» заключается в способе закрепления бил (гибких элементов) под углом к радиальному направлению в чередующихся рядах на поверхности данного вращающегося барабана. Для стохастического описания поведения частиц в разреженном факеле, формируемом при взаимодействии с гибкими билами, предлагается применить энергетический подход [2], эффективность которого показана в работах [1, 3-5]. Рассматриваются два сечения смесительного барабана с билами в двух последовательных рядах, когда углы наклона гибких элементов к радиальному направлению противоположны. Пусть декартова система координат для каждого выбранного сечения барабана имеет центр на неподвижной оси его вращения. Элемент фазового объема, определяемый проекциями импульса частицы каждого компонента сыпучей смеси в указанных плоскостях, выражается через дифференциалы полярных координат данной частицы. Предлагается энергию стохастического движения частиц сыпучих материалов, образующих разреженные факелы при взаимодействии с гибкими билами на вращающемся барабане после выхода из зазора между барабаном и подвижной лентой, представить в виде функции от указанных фазовых переменных – радиальной и угловой полярных координат. Выражение для данной энергии учитывает кинетические энергии двух видов движения частицы – поступательного вместе с ее центром масс и вращательного относительно этого центра при случайном характере ее момента импульсов, а также энергию упругого взаимодействия с биллом с учетом допущений из работ [3, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капранова А.Б. Стохастическое описание процесса формирования потоков сыпучих компонентов в аппаратах со щеточными элементами / А.Б. Капранова, И.И. Верлока // Теор. основы хим. технологии. 2018. Т. 52, № 6. С. 707-721
2. Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса: Новый подход к статистической теории открытых систем. М. : ЛЕНАНД, 2014. 328 с.
3. Способы описания движения твердых дисперсных сред в различных плоскостях для сечений смесительного барабана / А.Б. Капранова, М.Н. Бакин, И.И. Верлока, А.И. Зайцев // Вестник Тамб. гос.техн. ун-та, 2015. Т. 21, № 2. С. 296-304. (DOI) 10.17277/vestnik.2015.02.pp.296-304.
4. Капранова А.Б. Моделирование критерия качества смеси в объеме барабанно-ленточного устройства / А.Б. Капранова, М.Н. Бакин, И.И. Верлока // Хим. и нефтегаз. машиностроение. 2018. Т.54. № 5. С. 3-9.
5. Stochastic modeling of bulk components batch mixing process in gravity apparatus / I. Verloka, A. Kapranova, M. Tarshis, S. Cherpitsky // International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET). 2018. V. 9(2). P. 438-444; <http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=9&IType=2>

К ВОПРОСУ ОБ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КОНСТРУКЦИИ КАСКАДНОГО РЕАКТОРА СЕРНОКИСЛОТНОГО АЛКИЛИРОВАНИЯ

А.Ю. Тимонин, И.С. Гуданов

Научный руководитель – **И.С. Гуданов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проанализирован опыт эксплуатации контакторов алкилирования различных конструкций на отечественных НПЗ. Выявлены недостатки конструкций и предложены технические решения по увеличению надежности.

Ключевые слова: реактор, алкилирование, уплотнение вала, охлаждение.

THE QUESTION OF THE DESIGN CASCADE REACTOR OF SULFURIC ACID ALKYLATION REFINEMENTS

A.Yu. Timonin, I.S. Gudanov

Scientific Supervisor – **I.S. Gudanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The alkylation contactors of various designs at domestic refineries field experience is analyzed. The design defects are identified and engineering solution is proposed.

Keywords: reactor, alkylation, shaft seal, cooling.

Алкилирование – кислотно-каталитический процесс комплекса улучшения качества светлых нефтепродуктов. Служит для получения высокооктановых компонентов моторных и авиационных топлив – алкилатов. Последние состоят из разветвленных углеводородов изостроения, отличающихся высокой детонационной стойкостью, химической стабильностью, удовлетворяющие самым строгим экологическим требованиям. По своей сути алкилирование обратное каталитическому крекингу, в

сравнении с сырьем получаемый продукт имеет большую молекулярную массу и плотность, не содержит бензола, не токсичен, имеет низкое давление насыщенных паров, следовательно мало испаряется при хранении и транспортировке и легко компаундируется с другими бензиновыми фракциями. Все это позволяет считать процесс алкилирования одним из перспективных направлений нефтепереработки, претерпевающей бурное технологическое развитие.

На современном этапе развитие нефтепереработки тесно связано с повышением глубины переработки нефти. Нарастивание мощностей НПЗ по деструктивным процессам приведет к увеличению выхода газов, богатых олефинами, составляющих сырьевую базу алкилирования. Поэтому следующим шагом в развитии нефтепереработки будет актуализация техники и технологии алкилирования.

Выход и качество продуктов алкилирования определяется не только свойствами сырья и катализатора, но и в очень большой степени параметрами технологического процесса. Среди большого числа переменных параметров в первую очередь рассмотрим влияние следующих: разбавление сырья изобутановой фракцией, объемная скорость реакции, температура в зоне реакции, концентрация серной кислоты, насыщенность смеси в реакторе. Три последних фактора в наибольшей степени определяются конструктивным оформлением самого контактора.

На разных этапах становления и развития нефтепереработки использовались реакционные устройства различных конструкций. Это были как собственные разработки, так и усовершенствованные зарубежные прототипы. Каждый такой реактор был актуален только для решения узкого круга задач (малый интервал рабочих параметров) и не был лишен недостатков.

На начальном этапе использовались емкостные реакторы с диафрагменным смесителем, но в силу малой производительности и трудности охлаждения реакционной смеси от них вскоре отказались в пользу зарубежных контакторов с холодильником в виде трубчатки. Позже предпочтение было отдано отечественной разработке – горизонтальному каскадному автотермическому реактору. На АО «Газпромнефть-ОНПЗ» был применен первый такой реактор, состоящий из пяти секций. На АО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания» применяется реактор в виде десятиступенчатого каскада. Определенный интерес представляет четырехсекционный горизонтальный реактор модифицированный ПАО «Славнефть-ЯНОС». Будучи оснащенный смесителями прогрессивной конструкции, он обеспечивает завидную производительность до 120000 т/год по сырью и высокую химическую стабильность алкилата (99 о.ч. по и.м.).

Опыт двух последних межремонтных пробегов выявил недочеты в конструкции. В ходе последнего капитального ремонта было выявлено, что развитию разрушительных процессов благоприятствует наличие застойных зон во внутренних полостях кожуха вала и обтекателя (рис. 1). Одна из них ограничена непосредственно самим подшипником, защитным кожухом вала и корпусом стояночного уплотнения. Продукты реакции, поднимаемые пропеллером мешалки, просачиваются через зазоры и заполняют полость непосредственно выше подшипникового узла. Вторая застойная зона образуется внутри конического обтекателя. Наличие застойных зон приводит к постепенному осаждению продуктов коррозии, грязи и других примесей на деталях подшипника.

Очевидно, что для решения данной проблемы необходимо обеспечить свободную циркуляцию жидкости через данные полости. Это позволит выносить любые примеси из зоны нижнего подшипника циркулирующими потоками, обеспечивая его промывку и защиту. Отмечу, что по аналогичному принципу работает и промывка продуктовой пары трения торцовых уплотнений мешалок и насосов.

Для реализации промывки подшипника предлагается смонтировать врезки трубопровода диаметром 20мм в стенки кожуха вала и обтекателя в непосредственной близости к нижнему подшипнику для подачи изобутана. Трубопровод вывести через отверстие во фланце мешалки наружу и врезать в линию подачи изобутана от насосов на продуктовые пары торцовых уплотнений мешалок, расположенную рядом.

Для организации свободного выхода продуктов реакции из закрытого кожуха необходимо сделать четыре отверстия в кожухе под корпусом стояночного уплотнения. Из полости обтекателя свободный выход будет обеспечен посредством существующего щелевого зазора между валом и нижним кольцом конуса. Расход изобутана по линии промывки в сравнение с общими расходами сырья, изобутана и кислоты в каскады реактора будет незначителен, и не окажет заметного влияния на протекание реакции.

Учитывая значительное превышение давления в линии изобутана ($6,5 \text{ кгс/см}^2$) над давлением в реакторе ($0,8 \text{ кгс/см}^2$), можно утверждать, что подача изобутана по данным врезкам обеспечит эффективную промывку верхней и нижней торцевых частей подшипника и наружную поверхность вала с непрерывным вытеснением из застойных зон кислоты и продуктов реакции и их выводом объем каскада реактора. Таким образом будет значительно увеличен срок эксплуатации валов, подшипников и мешалок в целом. Конструкция нижнего подшипника с узлами подачи изобутана представлена на рис. 2.

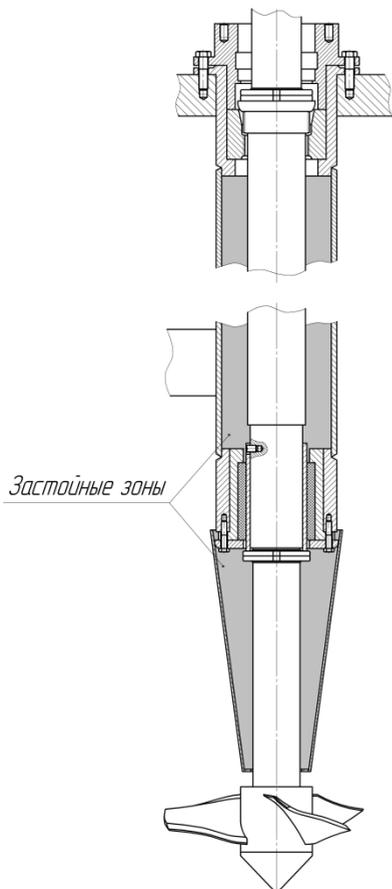


Рис. 1. Застойные зоны в области нижнего подшипника

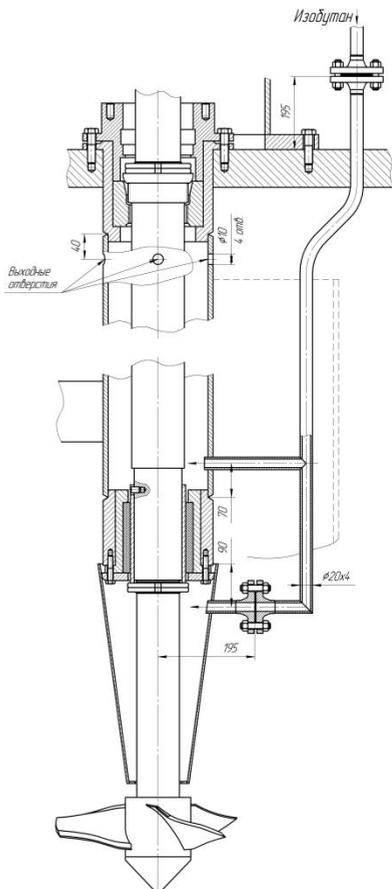


Рис. 2. Узлы подачи изобутана к нижнему подшипнику

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорогочинский А.Э. Сернокислотное алкилирование изопарафинов олефинами: Учебное пособие / А.Э. Дорогочинский, А.В. Лютер, Е.Г. Вольпова. М.: Химия, 1979. 217 с.
2. Дроздов Г.В. Получение моторных алкилатов на основе парафинов и ациклических олефиновых углеводородов. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1979. 84 с.
3. Козлов Б.И. Процессы алкилирования, изомеризации и полимеризации в нефтепереработке. М.: Химия, 1990. 65 с.

ЧИСЛЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ КАСКАДНОМ РЕАКТОРЕ СЕРНОКИСЛОТНОГО АЛКИЛИРОВАНИЯ

А.Ю. Тимонин, И.С. Гуданов

Научный руководитель – **И.С. Гуданов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проведен компьютерный анализ структуры потоков в действующем четырехсекционном алкиляторе. Отмечены отклонения гидродинамики от идеальной: застойные зоны, байпасные токи, циркуляции. Предложены рекомендации по усовершенствованию внутреннего пространства реактора.

Ключевые слова: каскадный реактор, сернокислотное алкилирование, смеситель, численные методы.

THE HORIZONTAL CASCADE REACTOR FOR SULFURIC ACID ALKYLATION CONSTRUCTION STRUCTURAL DETERMINATION

A.Yu. Timonin, I.S. Gudanov

Scientific Supervisor – **I.S. Gudanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

A computer analysis of the flow structure in the current four-section alkylate has been carried out. Deviations of hydrodynamics from the ideal are noted: stagnant zones, bypass currents, and circulation. Recommendations for improving the internal space of the reactor are proposed.

Keywords: cascade reactor, sulfuric acid alkylation, mixer, structural determination.

Процессы нефтепереработки комплекса повышения качества светлых нефтепродуктов своей целью имеют их очистку и повышение химической стабильности, а также выпуск высокооктановых компонентов. К таким процессам можно отнести гидроочистку, каталитический рифор-

минг, изомеризацию, производство полимербензинов и алкилирование. Последнее занимает особое место в общем цикле нефтепереработки. Получаемый в ходе процесса алкилат является ценным компонентом высококачественных бензинов, так как состоит из парафиновых углеводородов изостроения, отличающихся высокой детонационной стойкостью, хорошей приёмистостью к оксигенатам, незначительным различием значений октанового числа и малым нагарообразованием. Поэтому применение алкилатов заставляет учёных все больше акцентировать внимание на процессе алкилирования.

Сдерживающим фактором широкого применения процесса алкилирования является дефицит сырья и его высокая стоимость. Поэтому развитие алкилирования неразрывно связано с процессами каталитического крекинга, гидрокрекинга, производства МТБЭ. Качество алкилата во многом зависит от свойств сырья и условий процесса, однако определенный вклад вносит и конструкция реакционного аппарата.

В модернизации классического серноокислотного алкилирования можно выделить следующие направления:

- повышение эффективности смешения реагентов для образования необходимой эмульсии углеводородов в серной кислоте;
- уменьшение энергозатрат на перемешивание;
- регулирование и стабилизация теплового режима экзотермического процесса;
- упрощение конструкции реакторов-контакторов.

Всем этим актуальным направлениям отвечает емкостной горизонтальный каскадный реактор. Смешение реагентов с образованием эмульсии осуществляется в нем за счёт кинетической энергии струй форсунок и турбулентного потока, создаваемого пропеллерной мешалкой. Как правило, по длине реактор разделен на каскады сегментными и L-образными перегородками. Количество каскадов может быть 3, 4, 5, 6, 10. Основным рабочим элементом внутри каждого каскада выступает смеситель, состоящий из кожуха, корпуса и обтекателя. Данные оболочки создают последовательно сменяющиеся восходящие и нисходящие потоки, а также циркуляционные контуры в заданных направлениях. Секционирование реакционного аппарата по всей длине должно обеспечивать авторегенерацию турбулентных вихрей, поддерживающих состояние однородной эмульсии и хороший контакт реагентов на протяжении всего процесса.

Важная задача по созданию в реакторе необходимого температурного режима 8-15°C решается без установки внутри трубных пучков, что значительно упрощает конструкцию реактора и повышает его надежность. Однако создание автотермического режима требует дополнительных затрат изобутана, частично циркулирующего в качестве хладагента.

Стаявшая перед нами в рамках данной научной темы исследовательская задача заключалась в изучении структуры взаимодействующих потоков олефинов, изопарафинов и кислотного катализатора. На рис. 1 показана расчётная область моделируемого реактора с направлениями основных потоков. Далее эта область была дискретизована тетраэдрической элементной сеткой. Для повышения точности расчёта характерные размеры элементов отличались более чем в 100 раз. Численная процедура решения заключалась в замене сложных дифференциальных уравнений неразрывности и движения линейными алгебраическими. При этом считалось, что внутри объема симплексного элемента все параметры постоянны.

Анализ численных результатов показывает, что скоростные потоки в виде векторов (рис. 2) сосредоточены в непосредственной близости от смесителя, тем временем внутри каскада снижается интенсивность обмена с остальными участками рабочего пространства. На основе этого для уменьшения доли застойных зон можно предложить уменьшение протяженности каждого из каскадов на 17-22%.

Из анализа изолиний поперечных сечений реактора (рис. 3) следует, что гидродинамическая картина в смесителях развивается по различному сценарию. Лишь для последнего смесителя характерна более развитая турбулизация вокруг мешалки, которой способствуют предшествующие каскады. Это позволяет заключить, что некоторые геометрические характеристики смесителей должны меняться от каскада к каскаду. В частности предлагается уменьшить на половину высоту кожуха первого смесителя, у кожуха второго смесителя высота будет уже на 40% меньше, а у третьего лишь на 20%.

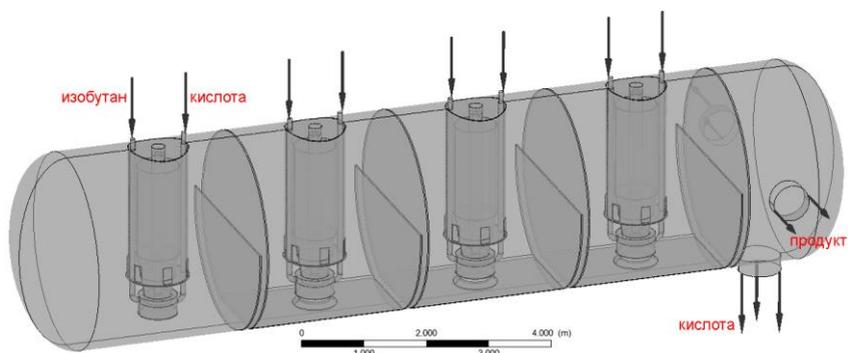


Рис. 1. Модель горизонтального каскадного реактора алкилирования

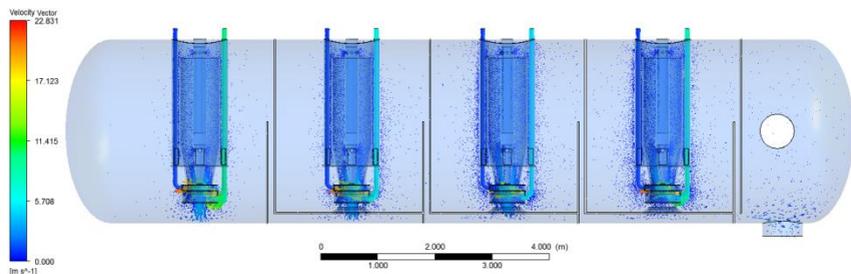


Рис. 2. Векторы скоростей в рабочем пространстве горизонтального каскадного реактора алкилирования

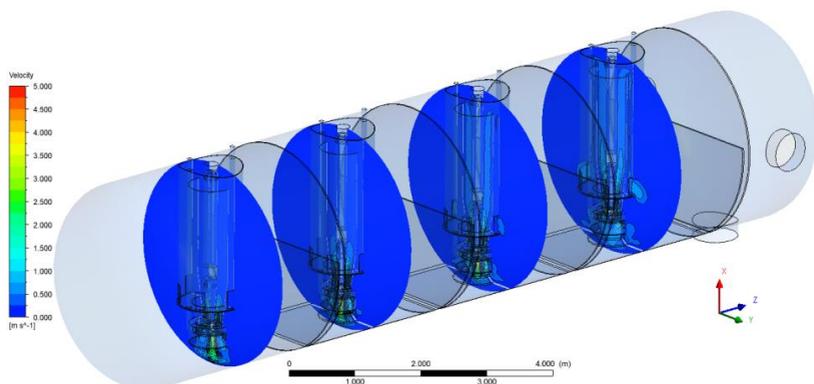


Рис. 3. Изоконтурь скорости в поперечных сечениях горизонтального каскадного реактора алкилирования

Разработанная в рамках данной работы математическая модель оставляет задел для более детального изучения гидродинамики в диффузоре смесителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дорогочинский А.Э.* Сернокислотное алкилирование изопарафинов олефинами: Учебное пособие / А.Э. Дорогочинский, А.В. Лютер, Е.Г. Вольпова. М.: Химия, 1979. 217 с.
2. *Дроздов Г.В.* Получение моторных алкилатов на основе парафинов и ациклических олефиновых углеводородов. М.: ЦНИИГЭнефтехим, 1979. 84 с.
3. *Козлов Б.И.* Процессы алкилирования, изомеризации и полимеризации в нефтепереработке. М.: Химия, 1990. 65 с.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА В БАРАБАННО-ЛОПАСТНОМ СМЕСИТЕЛЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

С.Н. Черпицкий, М.Ю. Таршис

Научный руководитель - **М.Ю. Таршис**, д-р техн. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Разрабатывается методика проведения экспериментальных исследований нового барабанно-лопастного смесителя непрерывного действия. Приводится описание лабораторной установки, последовательность оценки качества смеси в её сечениях и пример применения методики.

***Ключевые слова:** эксперимент, сыпучий материал, смешивание, коэффициент неоднородности, кривая смешивания.*

EXPERIMENT TECHNIQUE FOR THE DRUM AND BLADED BULK MIXER OF CONTINUOUS ACTION

S.N. Cherpitskiy, M.Yu. Tarshis

Scientific Supervisor - **M.Yu. Tarshis**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The experiment technique for the new continuous action drum and bladed mixer is developed. The description of laboratory setup and, the sequence of estimates of mix quality is provided.

***Keywords:** experiment, bulk, mixing, heterogeneity coefficient, mixing curve.*

Разработка методики проведения экспериментальных исследований является наиболее существенной частью всего исследования технического устройства и реализуемого им процесса. Именно на этом этапе ставятся задачи исследования, создаются предпосылки для их решения. Методика определяет качество математического описания процесса и создава-

емых методов расчета технического устройства. Методика проведения эксперимента смесителя должна содержать:

- выбор метода оценки качества (как правило, однородности) получаемой смеси;
- выбор критериев оценки качества смеси;
- разработку экспериментальной установки и последовательности осуществления эксперимента.

При выборе метода оценки качества, в основном, предпочтение отдается скоростным, бесконтактным методам, основанным на оценках распределений контрастных частиц ключевого компонента в сечениях смеси [1]. Говоря о критериях качества смеси, необходимо отметить преимущество интегральных критериев, основанных на оценках однородности в широких диапазонах масштабов проб [1]. Применение таких критериев возможно благодаря развитию бесконтактных методов исследований. В данной работе кратко описана методика проведения экспериментов в новом барабанно-лопастном смесителе непрерывного действия [2], который включает корпус, выполненный в виде набора эластичных камер (покрышек) с отогнутыми, в виде перемешивающих лопастей, элементами бортов. При разработке лабораторной установки смесителя непрерывного действия возникает задача обеспечения доступа к сечениям смеси по всей длине корпуса смесителя, поскольку необходимо получить закон изменения критерия однородности смеси вдоль его оси. Такая установка показана на рис. 1. Она включает цилиндрический корпус 1, внутри которого последовательно установлены ступени 2, несущие лопасти и прозрачные кольцевые перегородки 3, через которые осуществляется фиксация изображений смеси и их анализ [3]. Компоненты после дозирования поступают во вращающийся корпус 1 и постепенно заполняют его. После того, как начинается разгрузка компонентов через правую стенку 4, то есть устанавливается стабильный режим работы, смеситель останавливают. Затем проводится фиксация изображений смеси через правую прозрачную кольцевую стенку 4 и их анализ с целью получения критериев качества смеси в её сечениях. После этого, материал, находящийся перед правой перегородкой 3 убирают и анализ повторяют. Переходя, таким образом, к следующему сечению смеси за перегородкой 3 (справа налево), определяют критерии однородности смеси в исследуемых сечениях аппарата. Построенная таким образом кривая смешения (изменения коэффициента неоднородности смеси по длине смесителя) при исследованиях процесса приготовления смеси рапс - просо в соотношении 1:2 показана на рис. 2. Подобный метод может быть использован также при исследованиях сглаживающей способности смесителя.

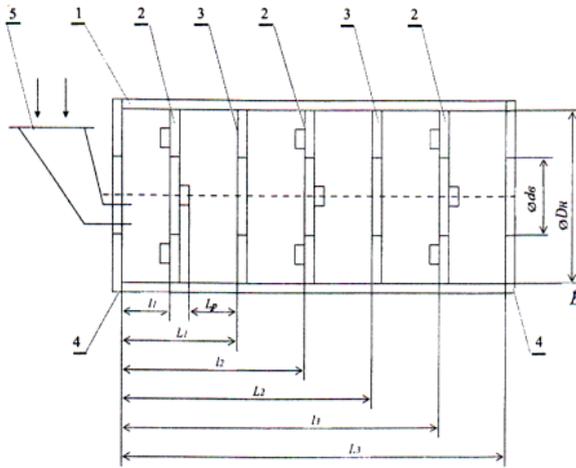


Рис. 1

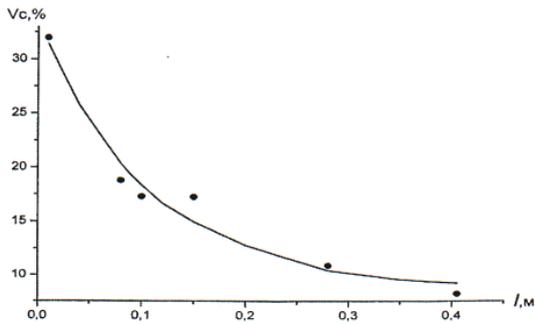


Рис. 2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование качества сыпучей смеси. Моделирование. Критерии. Эксперимент: монография / М.Ю. Таршис, Л.В. Королев, А.И. Зайцев. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2015. 116 с.
2. Пат. 2618065 Российская Федерация. Смеситель сыпучих материалов. Опубл. 02.05.2017, Бюл. № 13.
3. Пат. 2385454. Российская Федерация. Способ определения качества компонентов, различающихся по цвету. Опубл. 27.01.2010. Бюл. № 1.

ОЦИФРОВКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИФФУЗИОННОЙ МОДЕЛИ

В.С. Иванов, И.С. Гуданов

Научный руководитель – **И.С. Гуданов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Произведена оцифровка результатов отбора проб из аппарата с ситчатой тарелкой. Выполнено сравнение выходных кривых полученных цифровым методом и фотокolorиметрией.

Ключевые слова: *выходная кривая, фотокolorиметр, концентрация.*

DIFFUSION MODEL RESULTS DIGITAZING

V.S. Ivanov, I.S. Gudanov

Scientific Supervisor – **I.S. Gudanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Perforated plate sampling digitizing is conducted. The breakthrough chromatogram digitizing data equiparation by photocolormetry is obtained.

Keywords: *output curve, photocolormeter, concentration.*

С позиции математического моделирования структура потоков большинства аппаратов химической технологии не может быть описана с помощью идеализированных моделей смешения и вытеснения, так как занимает между ними промежуточное положение. Связано это с наличием следующих факторов: байпасные потоки, циркуляционные токи, застойные зоны и т.д. Одним из таких примеров может служить тарельчатая колонна с перекрестным режимом движения контактирующих фаз. Нами же в качестве объекта исследования был выбран фрагмент ситчатой тарелки колонного аппарата. То что структура потоков на ней занимает промежуточное значение не вызывает сомнений. Расположенные рядами

отверстия выполняют роль физических ячеек, что дает право на использование ячеистой модели, с другой стороны потоки газа, задерживающие жидкость на тарелке в виде обратных потоков позволяют обратиться к диффузионной модели. Однозначный вывод о характере потоков можно сделать по виду выходной кривой. Последняя может быть получена с помощью хорошо зарекомендовавшего себя индикаторного метода. После импульсного ввода красящего вещества производился последовательный отбор проб в пробирки (см. рис. 1). Для анализа проб использовался фотоэлектроколориметр КФК-2МП. Нами в качестве альтернативы предлагается использовать метод экспресс-анализа, основанный на цифровой фотографии. Выходные кривые, полученные на фотоколориметре и оцифровкой, показаны на рис. 2, 3, 4. Корреляционный анализ кривых позволяет считать результаты достоверными и удобными для интерпретации.

Оцифровка результатов исследования диффузионной модели

Исходные данные:

Опыт №1 $V_r = 40$ дел $V_{ж} = 30$ дел Расход туши 1 см^3

Опыт №2 $V_r = 40$ дел $V_{ж} = 90$ дел Расход туши 1 см^3

$C_{воды} = -0,011$

Таблица 1. Результаты опытов на фотоколориметре

№ опыта	Расход, м ³ /с		τ, с											
	газа	жидкости	10	20	30	40	50	60	90	120	150	180	240	300
1	0,00 26	0,00001 7	0	0,002	0,007	0,010	0,012	0,013	0,012	0,009	0,006	0,003	0,002	0,001
2	0,00 26	0,00003 1	0,001	0,004	0,010	0,011	0,010	0,008	0,003	0,001	0	-	-	-



Рис. 1. Опыт № 1 и опыт № 2

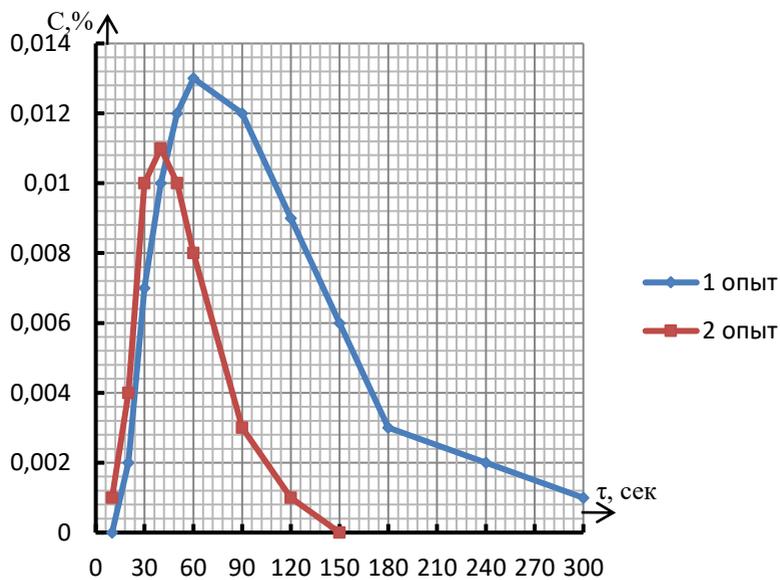


Рис. 2. График зависимости концентрации от времени

Таблица 2. Результаты опытов через определение баланса белого

№ опыта	Расход, м ³ /с		τ, с												
	газа	жидкости	10	20	30	40	50	60	90	120	150	180	240	300	
1	0,0026	0,000017	18	26	40	54	61	58	52	39	28	27	23	22	
2	0,0026	0,000031	2	3	5	5	5	4	3	2	2	-	-	-	

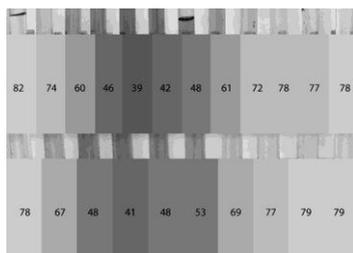


Рис. 3. Опыт № 1 и № 2 через градацию серого в графическом редакторе

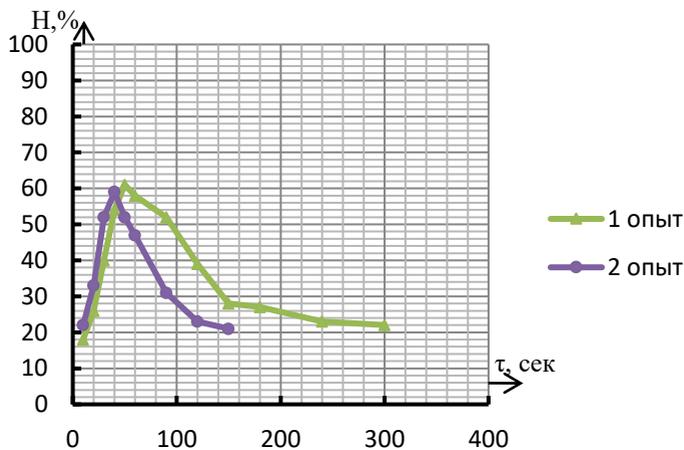


Рис. 4. График зависимости баланса белого от времени

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гуданов И.С.* Математическое моделирование технических систем: учебное пособие / И.С. Гуданов, А.Е. Лебедев, А.А. Ватагин. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. 76 с.
2. *Кутепов А.М.* Общая химическая технология: Учеб. для вузов / А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.Г. Беренгартен. 3-е изд., перераб. М.: Академкнига, 2004. 528 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФУТЕРОВКИ
МНОГОКАНАЛЬНОГО ПЕЧНОГО РЕАКТОРА
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕХУГЛЕРОДА**

А.А. Бирченко, В.П. Круглов

Научный руководитель – **В.П. Круглов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

*Представлены свойства футеровки, а также ее оснастка и ее значение.
Ключевые слова: реактор, техуглерод, корпус, футеровка, огнеупор.*

**THE STUDY OF THE PROPERTIES OF LINING
THE FURNACE MULTI-CHANNEL REACTOR
FOR PRODUCING CARBON BLACK**

A.A. Birchenko, V.P. Kruglov

Scientific Supervisor – **V.P. Kruglov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

*The properties of the lining , as well as its tooling and its value are presented.
Keywords: reactor, carbon black, casing ,lining , refractory.*

Производство технического углерода не маловажно в наши дни, он находит применение в различных отраслях промышленности. Основным потребителем техуглерода является шинная и резинотехническая промышленность. Технический углерод применяется в качестве активного наполнителя, резиновых смесей на каучуковой основе. При введении техуглерода в резиновую смесь увеличивается механическая прочность резины, а также срок службы шин и резиновых технических изделий.

Технический углерод – это продукт термического разложения различных углеводородов. По внешнему виду он напоминает порошок темного цвета с размерами частиц порядка 100-500 нм. Для его получения

используются многоканальные печные реакторы, температура в которых может достигать от 1000 до 2200 °С .

Основным элементом промышленного реактора является огнеупорная футеровка, обеспечивающая условия для проведения высокотемпературных реакций разложения углеводородов. Футеровка предназначена для уменьшения тепловых потерь и предохранения кожуха от высоких температур. Как правило, футеровка собирается из нескольких слоёв. Для самого внутреннего слоя используется наиболее термостойкий плотный огнеупор с открытой пористостью 15-20 %. По направлению к стальному кожуху располагается несколько слоёв, имеющих увеличивающуюся пористость – до 30 % и выше. Роль пористых огнеупоров (легковесных) заключается в снижении тепловых потерь от корпуса реактора. Обычно невозможно полностью изолировать корпус, так как определённый поток тепла необходим, чтобы поддерживать желаемый температурный профиль в огнеупорной футеровке. Если футеровка разработана правильно, то потеря тепла от корпуса реактора должна составлять 1-2 % от вводимой энергии.

Футеровка реактора должна выполняться в виде концентрических слоёв огнеупорных изделий различного состава в виде фасонных блоков. Общий вид футеровки реактора представлен на рис. 1.

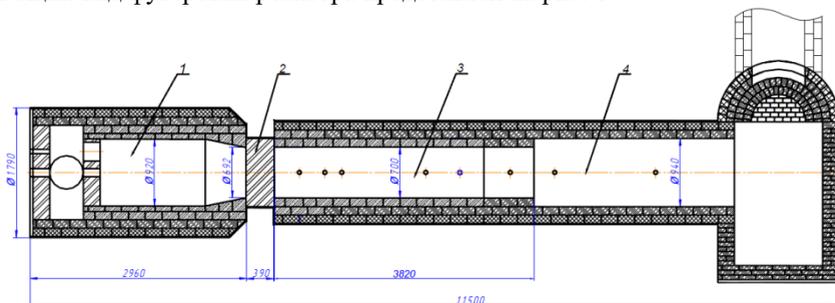


Рис. 1. Футеровка печного реактора РТ-100/4000 для получения активных марок тегулерода:

1 – зона горения; 2 – зона реакции; 3 – зона предзакалки; 4 – зона закалки

В течение всего эксплуатационного периода реактора футеровка должна сохранять газоплотность. С этой целью сборная конструкция футеровки выполняется со связующими швами, которые заполняются огнеупорным раствором (мертелем), обладающим временно-подвижной связью. Это позволяет снизить уровень развиваемых термических напряжений, возникающих в огнеупорах в процессе их разогрева и эксплуатации.

Обязательное условие компенсационного действия связующего шва заключается в том, что модуль упругости керамического материала шва должен быть меньше модуля упругости соединяемого изделия. Это достигается специальным подбором химико-минералогического состава мертеля, а также фрикционными свойствами используемых компонентов.

При расчёте для зон горения и реакции, используются следующие допущения:

- многослойная футеровка заменяется на однослойную, то есть футеровка состоит из однородного по физическим свойствам материала;
- физические свойства не меняются в зависимости от температуры по общей толщине сборной конструкции футеровки.

Внутренний слой футеровки для зоны горения и зоны реакции выполнен из высокоглиноземистых огнеупоров (муллитокорунд) ГОСТ 24704 – 96, а наружный слой футеровки выполняется из легковесного шамотного кирпича ГОСТ 390 – 96. Толщину внутреннего и наружного слоя, принимаем равной высоте двух слоев прямого огнеупорного кирпича равной 230 мм.

Внутренний слой футеровки для зоны предзакалки выполнен из высокоглиноземистых огнеупоров (муллитокорунд) ГОСТ 24704 – 96. Толщину слоя принимаем равной высоте прямого огнеупорного кирпича равной 115 мм, а наружный слой футеровки выполнен из легковесного шамотного кирпича. Принимаем толщину слоя равной высоте двух слоев прямого огнеупорного кирпича равной 230 мм.

Внутренний слой футеровки для зоны закалки выполнен из шамотного кирпича. Наружный слой футеровки выполнен из легковесного шамотного кирпича. Принимаем толщину каждого из слоев высоте слоя прямого огнеупорного кирпича равной 115 мм.

В результате проведенного исследования рассчитана футеровка реактора, в ходе которой подобраны материалы, а также рассчитана толщина внутреннего и наружного слоев футеровки в зонах горения, реакции, предзакалки и закалки, для уменьшения тепловых потерь в аппарате и предохранения стального корпуса реактора от воздействия высоких температур в его рабочих зонах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов В.Ю. Производство и использование технического углерода для резин / В.Ю. Орлов, А.М. Комаров, Л.А. Ляпина. Ярославль: Издательство Александр Рутман, 2002. 512 с.

ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЕТ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧПУ

О.А. Аверьянова, А.М. Шапошников

Научный руководитель – **А.М. Шапошников**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается специфика расчета станка и определение необходимой мощности двигателя для обработки алюминиевых и дюралюминиевых сплавов. Производится расчет необходимой силы зажима детали, КПД шарико-винтовой передачи, а также момент кручения при фрезеровании. Представлено определение реакции опор на каждой из направляющих по осям OX, OY, OZ

Ключевые слова: скорость резания, сила, мощность, крутящий момент, реакции опор.

CNC CONTINUOUS MILLING MACHINE DESIGN CALCULATION

O.A. Averyanova, A.M. Shaposhnikov

Scientific Supervisor – **A.M. Shaposhnikov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The machine design calculation particularity and the required engine power for the processing of aluminum and duralumin alloys defining are considered. The calculation of the required force for gripping power, the efficiency of the ball screw drive, as well as the torsional moment during the milling are made. The definition of the support reaction on each of the guides along the OX, OY, OZ axes is presented.

Keywords: cutting speed, force, power, torque, reaction of supports.

Для определения максимальной необходимой мощности принимаем концевую фрезу из материала Р6М5 диаметром 7 мм.

Расчет скорости резания:

$$v_{\text{доп}} = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{nv} \cdot K_{\varphi v}}{T^m \cdot B^{X_Y} \cdot S^Y \cdot h^{u_Y} \cdot Z^{P_Y}}$$

показал, что для обработки алюминиевых и дюралюминиевых сплавов необходимо обеспечить $v_{\text{доп}} = 43 \text{ м/с}$, т.е. иметь на шпинделе 1930 об/мин.

Расчет возникающей при этом силы резания:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot B^{X_p} \cdot S_{z\phi}^{Y_p} \cdot Z \cdot h^{U_p} \cdot K_p}{D^{q_p} \cdot n^{w_p}}$$

дал величину $P_z = 1152,2 \text{ Н}$, что потребует мощность резания $N_{\text{рез}} = 0,8 \text{ кВт}$.

Необходимое тяговое усилие в передаче винт-гайка с учетом коэффициента запаса должна составлять $Q = 3226 \text{ Н}$.

Для обеспечения такой силы Q ходовому винту должен быть приложен крутящий момент:

$$M_{\text{кр}} = \frac{Q \cdot t}{2 \cdot \pi \cdot \eta'}$$

где t – шаг винта, η – КПД винтовой передачи.

$$\eta = \frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg}(\varphi + \rho)}$$

φ – угол подъема винтовой линии резьбы на среднем диаметре, ρ – угол трения в резьбе.

Необходимый крутящий момент составляет $M_{\text{кр}} = 2,65 \text{ Нм}$. Для проектируемого станка выбираем двигатель мощностью 1,5 кВт.

Расчет реакций в вертикальных направляющих при движении фрезы по координатам X и Y .

Расчетные схемы представлены на рис. 1–4. Сначала выполнила расчет привода по оси Z при движении по оси Y , используя расчетную схему на рис. 1.

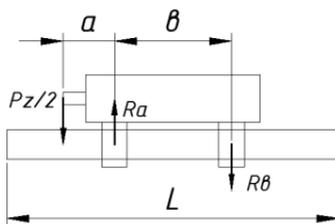


Рис. 1. Расчетная схема привода по оси Z , при движении по оси Y от силы P_z

$$R_b = P_z \cdot \frac{a}{b \cdot 2}$$

$$R_a = P_z \cdot \frac{a + b}{b \cdot 2}$$

При $a = 0,042 \text{ м}$ и $b = 0,158 \text{ м}$ получила $R_b = 153,1 \text{ Н}$, $R_a = 729,24 \text{ Н}$.

Далее выполнила расчет привода по Z, используя расчетную схему, представленную на рис. 2. Поскольку нагрузка симметричная, веду расчет только по одной из направляющих. На второй направляющей нагрузка будет аналогичной.

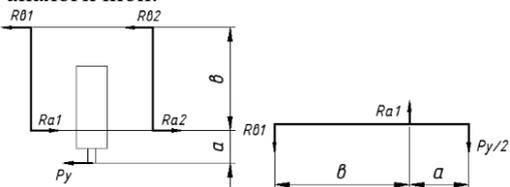


Рис. 2. Расчетная схема привода по оси Z, при движении по оси Y от силы Py

$$R_{b1} = \frac{P_y \cdot a}{2 \cdot b} \qquad R_{a1} = \frac{P_y \cdot (a + b)}{2 \cdot b}$$

При $a = 0,42$ м и $b = 0,158$ м получила $R_{b1} = 150,29$ Н, $R_{a1} = 380,73$ Н.

В-третьих, рассчитала привод по оси Z, при движении по оси X, используя расчетную схему, представленную на рис. 3. Аналогично предыдущему случаю рассчитываю только одну из балок.

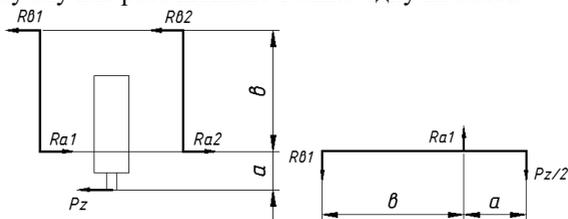


Рис. 3. Расчетная схема привода по оси Z, при движении по оси X от силы Pz

$$R_{b1} = \frac{P_z \cdot a}{2 \cdot b} \qquad R_{a1} = \frac{P_z \cdot (a + b)}{2 \cdot b}$$

При $a = 0,15$ м и $b = 0,23$ м получила $R_{b1} = 375,72$ Н, $R_{a1} = 951,82$ Н.

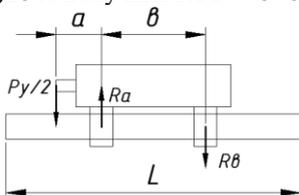


Рис. 4. Расчетная схема привода по оси Z, при движении по оси X от силы Py

$$R_{в1} = \frac{P_y \cdot a}{2 \cdot b}$$

$$R_{a1} = \frac{P_y \cdot (a + b)}{2 \cdot b}$$

При $a = 0,042$ м и $b = 0,158$ м получила $R_{в1} = 375,72$ Н, $R_{a1} = 951,82$ Н.

Данные, полученные в ходе расчетов, позволяют понять, какие нагрузки способны выдержать опоры направляющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расчёт режимов резания часть 3. Фрезерование: методические указания / Сост.: А.В. Оборин, А.В. Серов, А.М. Шапошников; Яросл. гос. техн. ун-т. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2016. 39 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя / Под общ. ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. 655 с.

ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ ПРОЕКТА В AUTODESK FUSION TEAM И СОВМЕСТНАЯ РАБОТА НАД НИМ С ДРУГИМИ УЧАСТНИКАМИ ПРОЕКТА

Д.Д. Аникиева, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается процесс создания совместного проекта в AUTODESK FUSION TEAM. Далее загружаются из облачного хранилища Fusion 360 в проект ранее созданные детали для сборочного узла. Добавляются люди, приглашенные в данный проект по конфиденциальной ссылке, для связанной работы над ним. Онлайн редактирование и редактирование в классическом приложении проекта всеми приглашёнными участниками.

***Ключевые слова:** AUTODESK FUSION TEAM, FUSION 360, сборка, параметризация размеров, Хаб.*

AUTODESK FUSION TEAM PROJECT COLLOBORATIVE DERIVATION PROCESS

D.D. Anikieva, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

AUTODESK FUSION TEAM collaborative derivation process is considered. The previously created setting parts from the Fusion 360 cloud storage are downloaded. People inviting to this project by confidential reference are added. Online and classical editing is typically enforced by all the invited participants

***Keywords:** AUTODESK FUSION TEAM, FUSION 360, Assembly, parameterization of dimensions, Hab.*

Fusion Team предоставляет централизованное рабочее пространство в облаке (хабе) для работы над проектами.

Пользователям Fusion Team доступны действия, перечисленные ниже:

- Создание проектов;
- Добавление пользователей в проект;
- Совместное использование и управление данными проектов;
- Просмотр 2D- и 3D-проектов в браузере с любого устройства;
- Добавление в проекты пометок с помощью браузера;
- Просмотр и комментирование проектов индивидуально или в составе группы;
- Проведение обсуждений;
- Управление календарем проекта;
- Отслеживание обновлений по проекту и элементов, которые требуют внимания и действий пользователя.

Для создания групповой работы над сборочным узлом нужно было создать проект. Чтобы создать проект, добавляем участников и данные, схема приведена на рис. 1.

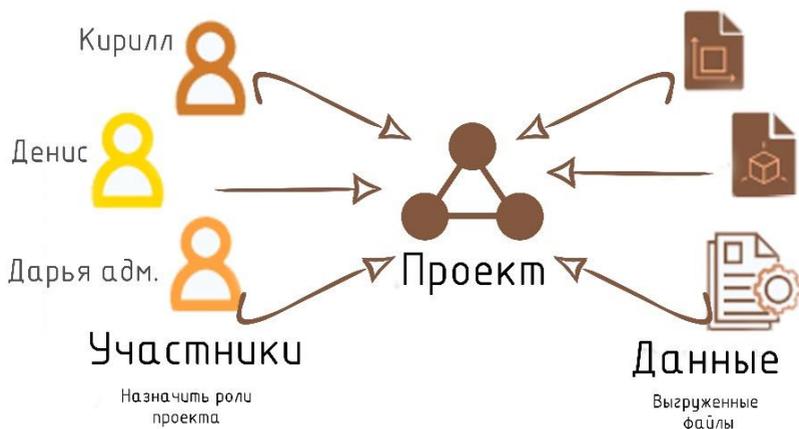


Рис. 1. Составляющие проекта

Добавление участников происходит при помощи рассылки на почтовые адреса индивидуального приглашения. Чтобы начать групповую работу, непосредственному участнику нужно перейти по ссылке, указанной в письме, пример письма на рис. 2.

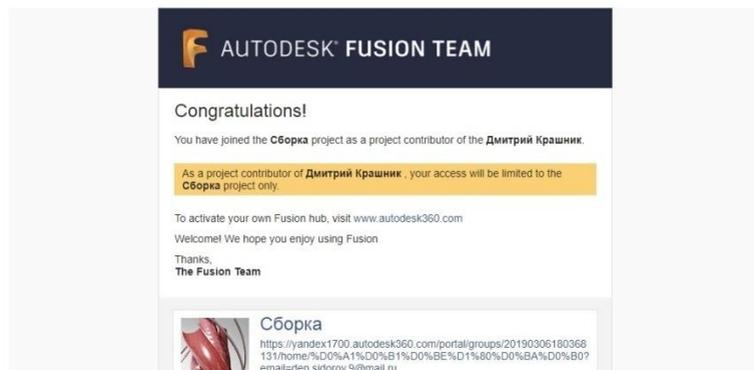


Рис. 2. Приглашение в проект

Продемонстрируем работу в группе на простом примере: Заказчик попросил изменить параметры и произвести сборку. Я как администратор назначаю кто за что отвечает, оставляю другим участникам проекта пометку в режиме online, в которой описываю задачу (рис. 3). Кирилл отвечает за изменения размеров, а Денис отвечает за сборку деталей.



Рис. 3. Постановка задачи

AUTODESK FUSION TEAM позволяет редактировать в обозревателе (непосредственно прямо на сайте) и редактировать в классическом приложении. Поправки в проект могут вносить только те участники, у

которых стоит в графе роль: администратор или редактор. На рис. 4, 5 представлен прогресс работы над проектом.



Рис. 4. Параметризация размеров от Кирилла



Рис. 5. Сборка от Дениса

Таким образом, при выполнении данной работы был создан проект в AUTODESKFUSIONTEAM для групповой работы в режиме online администратором. По итогам совместной работы – создан сборочный узел из трех деталей со сменными параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Autodesk 360 "Что такое FusionTeam?" [Электронный ресурс]. М., 2019. URL: <https://myhub.autodesk360.com>
2. Autodesk, Inc. [Электронный ресурс]. М., 2019. URL: <https://help.autodesk.com/view/FSNT/RUS/?guid=GUID-8C18EED5-0C11-4AD7-89C5-85A81EF8906C>

МОДЕЛИРОВАНИЕ УЧАСТКА ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ

И.А. Арефьев, А.В. Оборин

Научный руководитель – **А.В. Оборин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается процесс создания имитационной модели производственного участка для повышения эффективности работы в Tecnomatix Plant Simulation.

Ключевые слова: производственный участок, имитационное моделирование, Tecnomatix Plant Simulation.

SIMULATION OF MOULD CONSTRUCTION FOR ENHANCEMENT OF OPERATING EFFICIENCY

I.A. Arefev, A.V. Oborin

Scientific Supervisor – **A.V. Oborin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The process of simulation mould construction for enchancement of operating efficiency by Tecnomatix Plant Simulation is considered.

Keywords: production site, simulation, Tecnomatix Plant Simulation.

Цех – это элемент производственного предприятия, в котором выполняются одна или несколько работ по выпуску той или иной продукции. Он является основополагающим звеном производства, так как от его работы зависит успешность всего предприятия. Поэтому очень важно, чтобы производственная структура цеха была правильно сформирована.

В наше время на предприятиях существует ряд проблем, таких как: устаревшее оборудование, дефицит финансирования и материально – технической базы, нерациональное использование времени на определенных этапах жизненного цикла изготовления изделия и т.п.

Для улучшения функционирования и работы производственного участка используются различные методы исследования, одним из которых является имитационное моделирование. Этот метод позволяет создать на ЭВМ имитационную модель одного участка или предприятия в целом, исследовать функционирование реальной системы в разнообразных условиях, позволяет достичь лучших результатов за счет гибкости и легкости варьирования структуры.

Для создания имитационной модели используется ряд систем, одной из которых является TecnomatixPlantSimulation от компании Siemens. Программа позволяет выполнить имитацию реального производственного объекта что бы достичь максимально эффективных результатов. Также обладает возможностью составлять и производить симуляцию технологических процессов и многое другое.

Имитационное моделирование – метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, которая с высокой точностью описывает реальную систему. Построенная модель описывает процессы так, как они проходили бы в действительности. С моделью проводятся различные эксперименты для поиска варианта максимально эффективной работы производства.

Система представляет собой инструмент дискретного имитационного моделирования, который позволяет создавать цифровые модели логистических систем (например, производства) для определения характеристик системы и имитации ее производительности.

В качестве инструментов в программе используется стандартная библиотека компонентов. Каждый компонент представляет собой имитацию какого-либо оборудования, что позволяет быстро построить имитацию планировки простого производственного участка без использования программирования. Система позволяет создавать имитации моделей как в 3D, так и в 2D форматах. Функционал дает возможность проигрывать любые варианты планировок участков.

На производственном участке цеха пресс форм предприятия АО «Ярполимермаш – Татнефть» имеется производственная проблема, связанная с пониженной эффективностью работы производственного участка. Решить данную проблему можно с помощью метода имитационного моделирования с использованием TecnomatixPlantSimulation. На участке существуют такие проблемы, как устаревшее оборудование, ручное перемещение большого количества, но небольшого типоразмера заготовок между операциями. Эти факторы существенно понижают эффективность работы этого технологического маршрута. Схема участка цеха представлена стрелками на рис. 1.

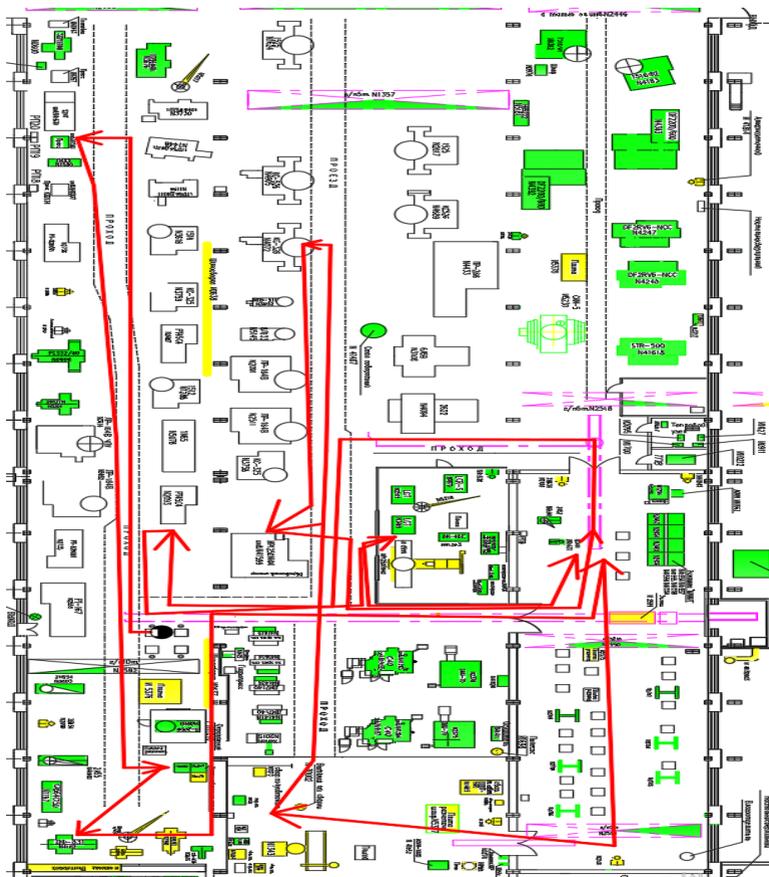


Рис. 1. Маршрут движения деталей по участку

Рассмотрим функционирование участка с обработки вкладышей. В общей сборке пресс формы их количество равно 74. Стальные заготовки, полученные методом литья, поступают в цех и укладываются на стеллажи, они и служат начальной точкой (черный круг на рис. 1) хода движения. Заготовки со стеллажей поступают на пресс для правки. Процесс правки всех вкладышей занимает в среднем 4 часа. Затем вручную переносятся на настольно – сверлильные станки для мелкой сверловки. Сверление отверстий на всех заготовках составляет 15 часов. Далее поступают на фрезерную обработку на двухсторонне – фрезерном станке ДФ–831, которая длится около 3 часа. После фрезеровки вкладыши по пролетам,

указанным на планировке попадают на слесарный участок где происходит дальнейшая сборка. Она осуществляется в среднем за 4 часа. Далее сборочные единицы попадают на сварку, процесс занимает 3 часа. После сварки сборочные единицы поступают на токарно – карусельные станки (КС-326), где происходит прикатка вкладышей. Процесс прикатки занимает около 3,5 часа. Перевозятся на расточной станок для фрезеровки пазов, обработка длится в среднем около 9 часов. После чего снова поступают на слесарный участок, где происходит обработка рисунка, подготовка жетонов и т.д. Процесс слесарной обработки длится в среднем 40 часов. Далее поступают на лоботокарные станки (РТ45С4) для проточки профиля, для этого необходимо примерно 4 часа, затем поступают на гравировальные станки, где происходит гравировка надписи и наносится разметка под мелкую сверловку. Этот процесс занимает 12 часов. На финальной стадии сборочные единицы поступают на слесарный участок, где происходит их дальнейшая комплектация, процесс в среднем осуществляется за 35,4 часа.

В результате была построена упрощенная модель в системе Tecnomatix Plant Simulation, представленная на рис. 2.

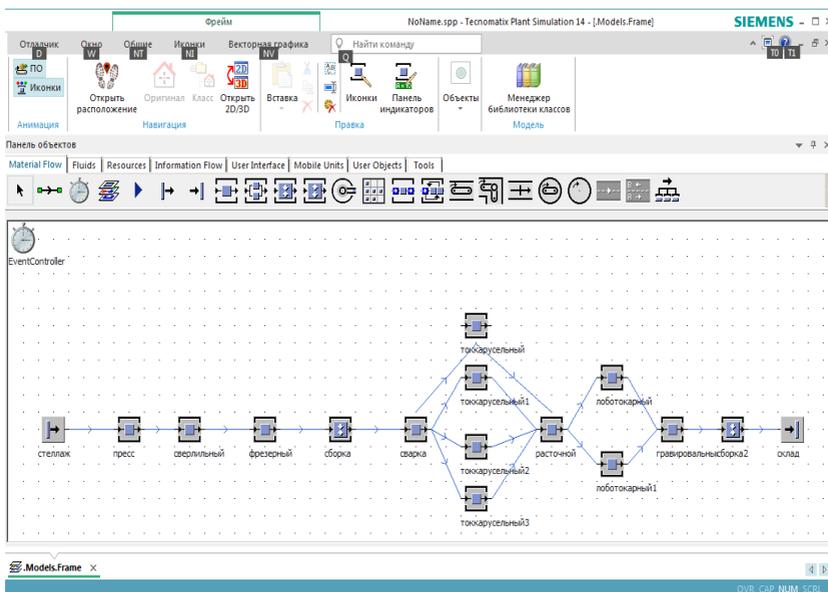


Рис. 2. Упрощенная модель в системе Tecnomatix Plant Simulation

Был проведен имитационный эксперимент над моделью реальной системы. В ходе работы было выявлено, что наибольшее снижение эффективности происходит на первых трех операциях (прессование, сверление, фрезерование). Это подтверждается и по ходу наблюдений за реальным участком.

В результате имитационного эксперимента на участке были выявлены наиболее проблемные зоны. К низкой эффективности на этих операциях приводит то, что двухсторонне – фрезерный станок имеет низкую производительность, в связи с этим на станке образовывается очередь заготовок на обработку, что приводит к простоем оборудования и рабочих на последующих операциях. Заготовки с операции на операцию перемещаются вручную, что также значительно снижает эффективность. В результате принято решение автоматизировать систему перемещения заготовок от пресса до сверлильного станка, фрезерный станок заменить на новый или увеличить количество до 2 единиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Studwood – информационный портал [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studwood.ru/1608493/informatika/ponyatie_imitatsionnoy_modeli_ponyatie_imitatsionnogo_modelirovaniya_struktura_vidy_imitatsionnogo_modelirovaniya
2. Itteach – информационный портал [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://itteach.ru/statisticheskoe-modelirovanie/suschnost-metoda-imitatsionnogo-modelirovaniya>
3. Научный форум – информационный портал [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nauchforum.ru/studconf/social/xl/13780>

УДК 621.865.8

РАЗРАБОТКА РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА НА ПЛАТФОРМЕ ARDUINO С ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

К.А. Белозеров, А.А. Кулебякин

Научный руководитель – **А.А. Кулебякин**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается процесс проектирования, 3D-печати, сборки и программирования манипулятора на платформе Arduino.

Ключевые слова: манипулятор, Arduino, 3D-печать.

DEVELOPMENT AND PROGRAMMING OF THE ARDUINO ROBOTIC ARM USING ADDICTIVE TECHNOLOGY

К.А. Belozеров, А.А. Kulebyakin

Scientific Supervisor – **А.А. Kulebyakin**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper examines the process of design, 3D-printing, assembly and programming of the Arduino robotic arm.

Keywords: manipulator, robot, robotic arm, Arduino, 3D-printing.

Данное устройство представляет из себя робот-манипулятор, механическое движение основных частей которого осуществляется при помощи трех сервоприводов и шагового двигателя. За основу был взят проект робота EEZYbotARM MK2, предназначенный для 3D-печати. Целью работы является:

- совершенствование конструкции робота путем замены сервопривода поворотного механизма в основании манипулятора на шаговый двигатель;

- освоение техники печати составных частей манипулятора на 3D-принтере;

- создание программы для платформы ArduinoUnoс возможностью управления манипулятором через Bluetooth-модуль и смартфон.

Данный манипулятор предназначен для захвата и переноса мелких объектов. При помощи двух сервоприводов возможно перемещение захватного устройства вверх, вниз, вперед и назад. Третьим сервоприводом реализуется захват. В основании конструкции находится шаговый двигатель, который осуществляет поворот робота на 180°.

3D-печать осуществлялась на принтере AnycubicI3 Mega. Для печати был использован PLA-пластик. Процесс печати составных деталей представляет собой следующую последовательность:

- проектирование сборки в программе AutodeskInventorProfessional 2017;

- экспорт каждой детали в формат .stl в высоком разрешении;

- создание управляющей программы в G-code при помощи UltimakerCura3.6.0;

- перенос управляющей программы на съемный носитель для чтения ее принтером;

- непосредственно печать.

Интерфейс программы Ultimaker Cura представлен на рис. 1. Режимы печати представлены в табл. 1.

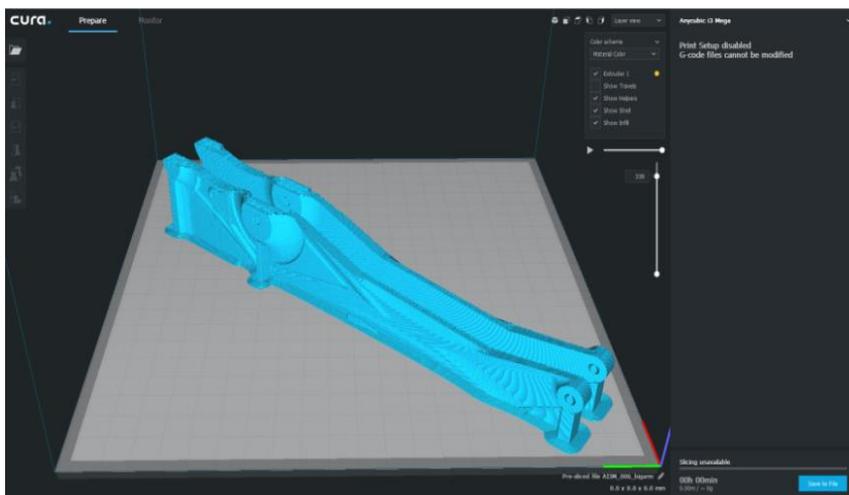


Рис. 1. Интерфейс программы Ultimaker Cura

Таблица 1. Режимы печати на 3D-принтере

№ п/п	Наименование	Значение
1	Высота слоя	0,1 мм
2	Заполнение	10%
3	Режим заполнения	«Зиг-заг»
4	Температура стола	60°
5	Температура сопла	200°

Внешний вид робота представлен на рис. 2. Управление роботом реализуется посредством приложения RemoteXY, при помощи которого со смартфона передаются команды на Bluetooth-модуль, подсоединенный к платформе Arduino. На рис. 3 представлен интерфейс программы RemoteXY, настроенный под задачи данного робота. В режиме «ON» возможно управление роботом при помощи слайдеров. В режиме «OFF» все сервоприводы и шаговый двигатель приводятся в стандартное положение. Левый и правый слайдер позволяют управлять сервоприводами, контролирующими наклон частей манипулятора. При помощи среднего слайдера приводится в действие захватное устройство. Нижний слайдер необходим для управления шаговым двигателем, установленным в основании робота и служащим для поворота робота.



Рис. 2. Внешний вид робота



Рис. 3. Интерфейс программы RemoteXY

Интерфейс управления создается на сайте программы «RemoteXY» [1]. После чего на компьютер предлагается сохранить файл программы с расширением .ino для последующей корректировки в среде разработки программ Arduino IDE [2]. В программе инициализируем все сервоприводы, шаговый двигатель, Bluetooth-модуль, подключив соответствующие

щие библиотеки. После написания программа через USB-кабель загружается в микроконтроллер.

В табл. 2 представлен перечень компонентов, необходимый для сбора схемы на базе Arduino. На рис. 4 показана схема подключения.

Таблица 2. Перечень компонентов для сбора схемы

№ п/п	Наименование компонента	Количество
1	Платформа ArduinoUno	1
2	Сервопривод SG90	3
3	Шаговый двигатель в комплекте с драйвером	1
4	Bluetooth-модульHC06	1
5	Макетная плата	1

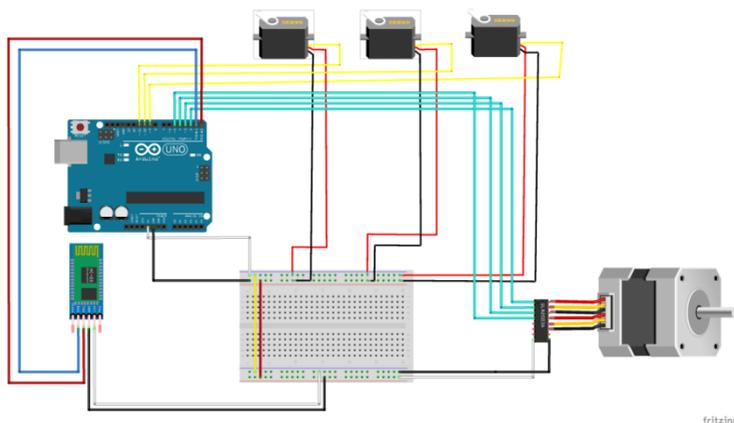


Рис. 4. Схема подключения

Таким образом, модернизация конструкции путем замены сервопривода на шаговый двигатель позволила увеличить точность поворота манипулятора. Была создана программа на платформе ArduinoUno с возможностью управления со смартфона при помощи приложения RemoteXY.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приложение RemoteXY [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://remotexy.com/>
2. Программное обеспечение ArduinoIDE [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНОЙ ОПЕРАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА PASCAL OMEGA

М.С. Ермаков, К.А. Белозеров, А.А. Кулебякин, О.Н. Калачев

Научные руководители – **А.А. Кулебякин**, канд. техн. наук,
доцент;

О.Н. Калачев, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается процесс создания управляющей программы на языке g-code для автоматизации процесса сборки конструкции из трех деталей.

Ключевые слова: манипулятор, робот, G-code, 3D-печать.

ROBOT- MANIPULATOR PASCAL OMEGA ASSISTED ASSEMBLY AUTOMATION

M.S. Ermakov, K.A. Belozеров, A.A. Kulebyakin, O.N. Kalachev

Scientific Supervisors – **A.A. Kulebyakin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O.N. Kalachev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper examines the process of creating control program by G-code for process automation during the construction of three details.

Keywords: manipulator, robot, robotic arm, G-code, 3D-printing.

Процесс создания управляющей программы (ВП) состоит из ряда задач:

- определение последовательности действий робота;
- определение координат положения робота при транспортировке;
- написание рабочей программы для заданных конечных позиций деталей.

На рис. 1 представлена схема робототехнического комплекса Pascal Omega. Суть сборочной операции заключается в перемещении деталей с различных позиций склада в одну из позиций стеллажа друг на друга.

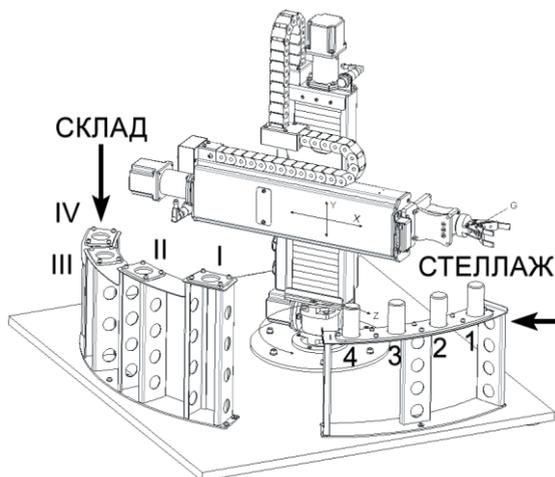


Рис. 1. Схема робототехнического комплекса

Для создания программы на 3D-принтере Anycubic I3 Mega были распечатаны три детали различной формы. При печати использовался PLA-пластик синего цвета. На рис. 2 представлены 3D-модели в программе Ultimaker Cura 3.6.0.

Деталь А установлена в позицию III, деталь В – в позицию II, деталь С – в позицию IV. После выполнения программы детали должны выстроиться друг на друга в ячейку стеллажа № 2.

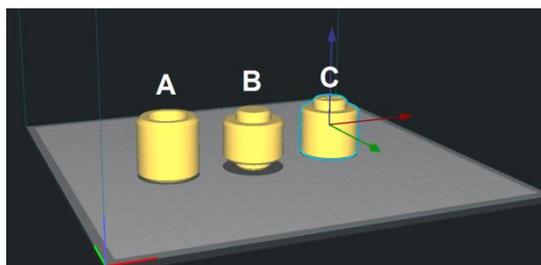


Рис. 2. Подготовленные 3D-модели

Управление роботом ведется через специальную программу управления. В начале работы нажимаем «Выход в ноль системы управления», манипулятор перемещается в нулевые точки по всем координатам. При помощи кнопок «ручное управление» ищем координаты позиций. Найденные координаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Найденные координаты

Деталь	Позиция	Координата		
		X	Y	Z
A	III	90	336.15	58.62
B	II	90	279	81.60
C	IV	90	400	35
A	2	90	380	166
B	2	90	332	165
C	2	90	280	165

Имея координаты всех позиций можно составить УП. Описание порядка программирования с примерами и списком команд приведены в учебном пособии [1]. Все перемещения робота PascalOmega задаются при помощи команды G01 с последующим указанием оси и величины перемещения. УП выполняется покadroво. Если в одном кадре присутствуют перемещения сразу по нескольким осям, то произойдет интерполяция криволинейной траектории движения. Для каждого кадра можно задать скорость перемещения при помощи оператора F, за которым следует число от 0 до 100. Для предотвращения столкновения манипулятора со складом или стеллажом в каждом кадре задается движение лишь по одной оси. Задав скорость один раз, в последующих кадрах она останется без изменений. Поскольку стеллаж и склад располагаются на одинаковом расстоянии по оси X, то достаточно лишь одного перемещения по этой оси для выполнения сборочной операции. Ниже приведен фрагмент УП сборочной операции с описанием значения каждого кадра.

Таблица 2. Фрагмент управляющей программы

G01 X90 F80	Перемещение по оси X в координату 95.42 со скоростью 80
G01 Z58.62	Перемещение по оси Z в координату 58.62
G01 Y336.15	Перемещение по оси Y в координату 336.15
LOCKERON	Зажать схват
G01 Y130	Перемещение по оси Y в координату 130
G01 Z165	Перемещение по оси Z в координату 165
G01 Y380	Перемещение по оси Y в координату 380
LOCKEROFF	Разжать схват

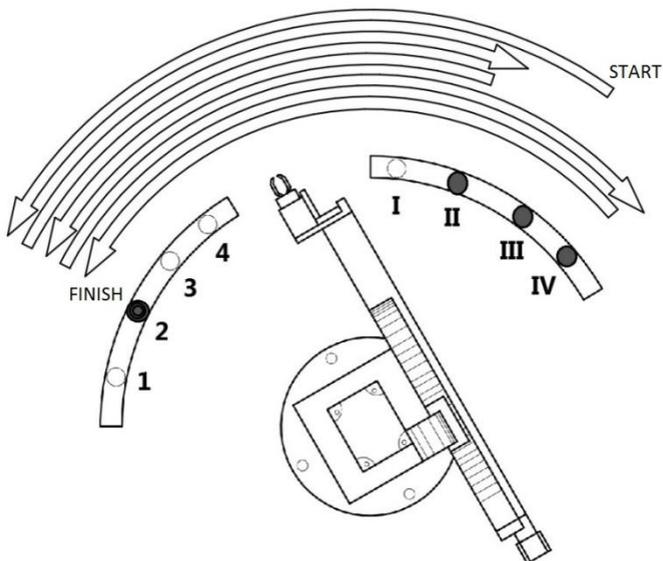


Рис. 3. Визуализация траектории перемещения манипулятора

Таким образом, был изучен метод программирования робота-манипулятора Pascal Omega при помощи G-code; были проведены подготовительные работы по 3D-печати деталей, перемещаемых манипулятором; эмпирическим путем были подобраны координаты положения схвата манипулятора; была составлена программа, в результате выполнения которой детали, располагаемые изначально на различных позициях склада, выстроились друг на друга в позиции номер два стеллажа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. PASKALOMEGA 1-3X(H)-USB-ARMDUINO: Учебное пособие. Челябинск, 2018.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЯЗЫКА PYTHON ПРИ ПРОГРАММНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАШИНО- СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В СРЕДЕ FUSION 360

Е.С. Белоусова, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Выполняется анализ актуальности создания специализированных САПР на основе программных модулей по сравнению с интерактивным проектированием. Далее рассматриваются этапы программирования геометрических средств языка Python с использованием объектной модели для Fusion 360 API. Представлены основные принципы создания диалогового окна на примере ввода значений параметров, по которым программно построена 3D-модель.

Ключевые слова: программные модули, Python, Fusion 360 API, диалоговое окно, 3D-модель.

THE OPPORTUNITY OF THE PYTHON LANGUAGE RESEARCH BY BATCH DESIGN OF MACHINE BUILDING IN THE FUSION 360 ENVIRONMENT

E.S. Belousova, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The analysis of the relevance of the creation of specialized CAD systems based on software modules compared to interactive design is performed. The programming steps of the geometric Python language using the object model for the Fusion 360 API are considered. The basic principles of creating a dialog box are presented on the example of inputting parameter values according to which a 3D model is programmed.

Keywords: software modules, Python, Fusion 360 API, dialog box, 3D model.

CAD/CAM/CAE-система Autodesk Fusion 360 представляет собой средство 3D-проектирования и разработки изделий на основе облачных технологий хранения данных.

Появление модуля API в среде Fusion 360 или иначе интерфейс прикладного программирования предоставляет пользователям возможность писать программы, которые будут выполнять те же операции, что и при интерактивном использовании Fusion 360, но существенно ускоряющие работу пользователя. Предоставляя API, Fusion 360 позволяет расширять свой функционал, создавать специализированный инструмент, который необходим для решения конкретной задачи, а также автоматизировать рутинные операции, что приводит к повышению производительности [1].

Fusion API реализуется в виде скриптов (сценариев) и Add-Ins приложений (надстроек), созданных при помощи языков программирования C++, Python, JavaScript. Написание скриптов выполняется с помощью дерева объектной модели. Ниже представлена методика исследования возможностей языка Python[3].

Для освоения базовых возможностей языка Python необходимо было написать программу для построения 3D-модели, создать пользовательский ввод параметров в диалоговое окно и проверить правильность выполнения параметризации.

В качестве исходных данных для создания скрипта при построении 3D-модели был взят эскиз детали втулки (рис.1).

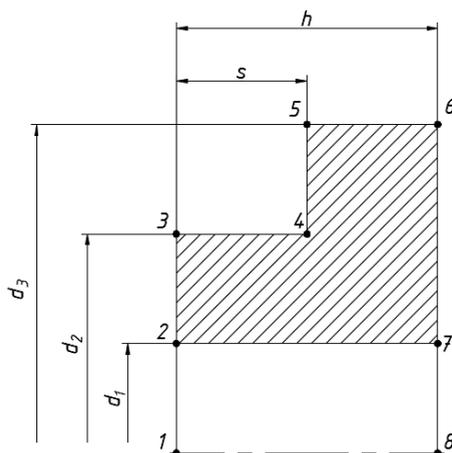


Рис. 1. Эскиз втулки с обозначениями примитивов и параметров

Описание программирования геометрии на языке Python с использованием дерева объектной модели для Fusion 360 API включает несколько этапов: сначала создается ссылка на корневой компонент, затем выбирается плоскость для построения эскиза, далее описывается непосредственно геометрия контура втулки с использованием стандартных команд: линия, точка. Создание 3D-модели было реализовано с помощью команды вращения вокруг оси, проходящей через 2 точки.

Основное внимание уделялось созданию диалогового окна ввода параметров. Требовалось создать окно для ввода значений параметров и на основании этих значений получить 3D-модель втулки. Написание программы для диалогового окна было выполнено с помощью создания Add-In надстройки. В данной надстройке был описан код программы, который содержал ссылки на ввод пользовательских параметров, а также на создание интерфейса диалогового окна. На рис. 2 показаны 3D-модель втулки и диалоговое окно ввода.

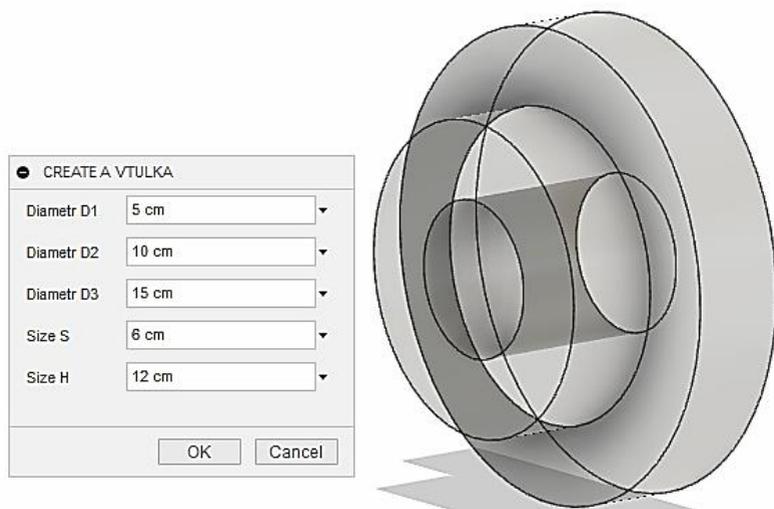


Рис. 2. 3D-модель втулки для набора параметров

Проверка параметризации выполнялась путем изменений параметров в диалоговом окне ввода значений. Реализация геометрии для разных сочетаний параметров, например диск, труба, представлена на рис. 3 и 4.

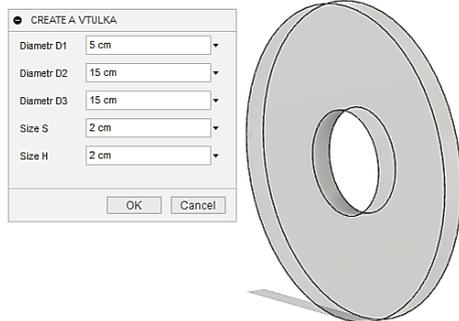


Рис. 3. 3D-модель диска

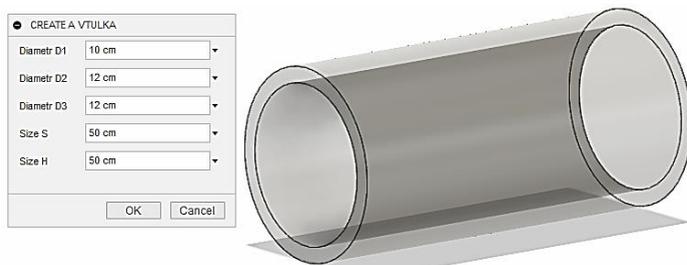


Рис. 4. 3D-модель трубы

Таким образом, при выполнении данной работы были изучены основные возможности языка программирования Python с использованием объектной модели Fusion 360 API для описания 3D-модели. Исследованы особенности создания диалогового окна на примере пользовательского ввода параметров, в результате которого было получено несколько реализаций 3D-модели втулки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Преимущества использования Fusion 360 API на этапе проектирования [Электронный ресурс]. URL: https://www.fassen.net/video/HSKDjOWX_Do.
2. Fusion 360 API User's Manual [Электронный ресурс]. URL: <http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU>.
3. Смирневский Н.С. Разработка приложений для продуктов Autodesk: Учебное пособие. Хмельницкий: ХНУ, 2016. 308 с.
4. Fusion 360 API Object Model: [Электронный ресурс]. URL: <http://help.autodesk.com/cloudhelp/ENU/Fusion-360-API/images/Fusion.pdf>.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ MACH3 И NC STUDIO ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СТАНКА С ЧПУ

А.А. Бычков, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается специфика работы систем управления ЧПУ Mach3 и NCStudio на основе сравнения результатов обработки по тестовой траектории. При этом задаются одинаковые параметры скоростей и ускорений. На основе полученных результатов делаются выводы и даются рекомендации по максимальной эффективности использования программного обеспечения для управления модернизированным станком с ЧПУ.

Ключевые слова: ЧПУ, Mach3, NCStudio, системы управления ЧПУ, Координатограф КПА-1200, ЧПУ станок «АйТиТехмаш-1».

MACH3 AND NC STUDIO MANAGEMENT SYSTEM RESEARCH FOR CNC MACHINE-TOOL RETROFIT

A.A. Bychkov, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The specificity of the CNC control systems Mach3 and NCStudio on the basis of a comparison of the results of processing along a test path is considered on the basis of a comparison of the results of processing along a test path. The same parameters of speed and acceleration are set. On the basis of the obtained results the maximum efficiency of using software for controlling a modernized CNC machine conclusion are made and recommendations are given.

Keywords: CNC, Mach3, NCStudio, CNC control systems, KPA-1200 Coordinator, CNC machine «ItTechMash-1»

На кафедре «Компьютерно-интегрированная технология машиностроения» мной и моим коллегой Белавиным В.А. на базе координатографа КПА-1200 был собран фрезерный станок с ЧПУ. Механика координатографа была оснащена необходимыми двигателями, микросхемами, управляемой осью и шпинделем, системой охлаждения, сопряжена с двумя системами ЧПУ, сконфигурирована с персональным компьютером и, после испытаний, модернизированный станок под именем «АйТиТехмаш-1» введен в эксплуатацию (рис. 1).



Рис. 1. Фрезерный станок с ЧПУ «АйТиТехмаш-1»

При модернизации СЧПУ было принято решение использовать одновременно две системы управления ЧПУ, а именно Mach3 и NCStudio. В ходе их изучения были выявлены оптимальные значения скоростей и ускорений. Для обеих программ приняты одинаковые настройки осей, а именно:

- Скорость X - 6000 мм/мин; Ускорение X - 25 мм/сек²
- Скорость Y - 6000 мм/мин; Ускорение Y - 25 мм/сек²
- Скорость Z - 6000 мм/мин; Ускорение Z - 250 мм/сек²

Была также подобрана оптимальная тестовая траектория для сравнения программ (рис. 2).

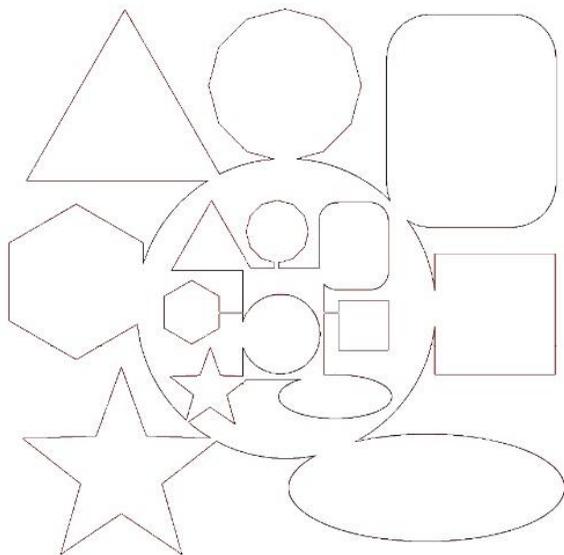


Рис. 2. Тестовая траектория

Mach3. На сегодняшний день самая популярная программа для авторских станков ЧПУ из представленных на рынке.

Работает на ОС Windows, ~~НО~~ стоит дешевле своих аналогов, а также имеется возможность найти версии нелегального продукта.

Богатый интерфейс и открытость ПО дают возможность настроить эту систему под производственные нужды путем создания оригинальных рабочих экранов и написания макросов. Имеется возможность подключения внешних контроллеров, что удобно, так как многие контроллеры поддерживают обратную связь от сервоприводов.

От внешнего аппаратного контроллера будет зависеть максимальная частота импульсов Step, например, SmoothStepper позволяет использовать частоты до 4 МГц, что полезно для сервоприводов, и явный перебор для шаговых моторов.

NCStudio. Система имеет упрощенный интерфейс в стиле Windows 95. Предположительно, это является причиной низкой заинтересованности данным продуктом.

Хотелось бы выделить несколько следующих явных плюсов данной СЧПУ по сравнению с аналогами.

- Простота подключения и использования датчика автоматического зануления оси Z.

- Управляющая программа СЧПУ загружается полностью в буфер программы, после чего файл уже не задействуется, т.е. в случае потери доступа к файлу, это не повлияет на работу станка. Даже после экстренного выключения ПК СЧПУ станка, программа будет помнить загруженную ранее УП. Это удобно, особенно в том случае, когда файл УП передаётся по корпоративной сети или через облачное хранилище. Также благодаря этой функции в случае сбоя или экстренного выключения оборудования программа запоминает координаты положения инструмента, что позволит после устранения неисправности продолжить обработку с места сбоя.

Рассмотрим производительность и качество обработки двумя СЧПУ выбранной тестовой траектории РИ (см. рис. 2).

Время обработки тестовой траектории.

Mach3 (время обработки -- 5:20)

Mach3 отличная программа для фрезеровки рельефов, где мы можем позволить себе небольшие сглаживания траектории. Наиболее эффективно будет сочетаться с программами типа ArtcCAM. Снижает скорость на некоторых элементах траектории, где можно было бы этого не делать.

NCStudio (время обработки -- 3:10)

Этой программе удалось добиться такой быстрой обработки траектории из-за очень продуманного алгоритма расчета траектории.

NCStudio реализует движение точно по заданной траектории, что может негативно сказаться на времени обработки сложных, криволинейных поверхностей, таких как декоративные рельефы. Оптимально подойдет для обработки точных изделий, таких как штампы и пресс формы, или же для раскройки материалов.

В докладе рассматриваются также особенности регулировки электронных компонентов, методика эксплуатации станка, примеры программирования УП и результатов обработки.

Таким образом, путем проведения нами изучения, сборки, настройки и многочисленных экспериментов с приобретёнными МИП АйТиТехмаш комплектующими кафедра получила фрезерный станок с ЧПУ для обработки крупногабаритных заготовок, проведения типовых лабораторных работ по различным дисциплинам бакалавриата и магистратуры направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Форум cnc-club.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cnc-club.ru/forum/index.php> (Дата обращения: 13.03.2019).

**ЭКРАННАЯ СБОРКА УСП В СРЕДЕ INVENTOR 2019
ПРИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА**

В.О. Горбачёв, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается специфика создания 3D-моделей деталей комплекта универсально-сборных приспособлений в среде Autodesk Inventor 2019. Создаются 3D-модели деталей УСП и пользовательская библиотека, содержащая в себе готовые модели для последующих сборок техоснастки. Демонстрируются приёмы сборки из готовых моделей в конкретное приспособление. Далее рассматривается коллективная работа посредством облачных технологий Autodesk. Представлены особенности коллективной работы при проектировании техоснастки в Inventor 2019.

Ключевые слова: CAD, CAM, Autodesk, Inventor, Autodesk 360, AutoCAD, цифровой прототип, цифровой двойник, технологическая оснастка, 3D-модель, Кузнечов, УСП.

**SCREEN ASSEMBLY OF UNIVERSAL PREFABRICATED
DEVICES DESIGN ENGINEERING PREPRODUCTION
IN THE INVENTOR-2019 ENVIRONMENT**

V.O. Gorbachev, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The specifics of creating 3D-models of parts of a set of universal prefabricated devices in the Autodesk Inventor 2019 environment is considered. 3D-models of USP parts and library containing ready-made models for subsequent assembly of technical accessories are created. The assembling ready-made models to a specific device is estimated. The collaboration with Autodesk Cloud technologies is provides. The features of collaboration for the design of technical equipment in Inventor 2019 is considered.

Keywords: CAD, CAM, Autodesk Inventor, Autodesk 360, AutoCAD, digital prototype, digital twin, technical equipment, 3D-model, Kuznetsov, UAT.

Одним из важных этапов технологической подготовки является задача конструирования технологической оснастки, а именно приспособлений, закрепляющих заготовки на металлорежущих станках.

Для упрощения этой задачи в условиях производства используются комплекты универсально-сборных приспособлений (УСП).

Выбор УСП зависит от метода обработки, конфигурации и размеров заготовки.

Использование плоского представления пространственной компоновки является одной из причин снижения производительности конструирования и вынуждает порой прибегать к трудоёмкой доводке приспособления на этапе физической сборки [1].

Процесс построения 3D-моделей в Autodesk Inventor 2019 схож с другими CAD/CAE-системами (CimatronE, NX, SolidWorks и т. д.): сначала выбирается плоскость для построения 2D-эскиза, затем с помощью стандартных примитивов «отрезок», «окружность», «прямоугольник» и т. д. выполняется построение необходимого контура. После идёт обязательный, но крайне важный в перспективе работы с моделью этап – простановка размеров эскиза и наложение ограничивающих степени свободы связей. Далее с помощью инструментов твердотельного моделирования из построенного контура строится 3D-модель.

На рис. 1 показан процесс моделирования в системе Autodesk Inventor 2019, в частности создание технологического отверстия по параметризованному эскизу.

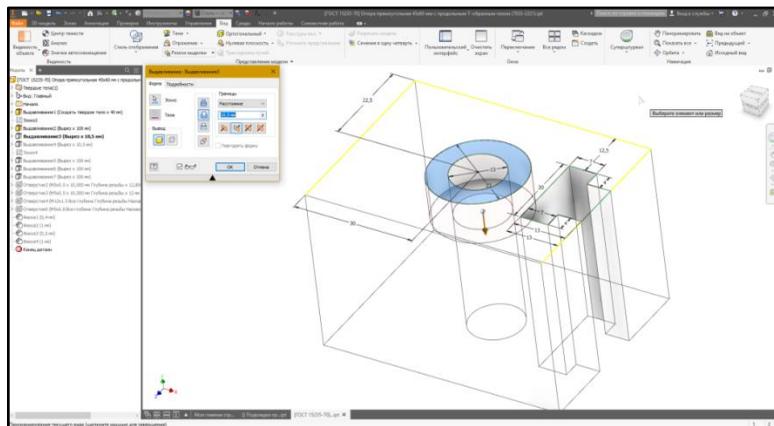


Рис. 1. Процесс моделирования в среде Inventor 2019

На этапе создания эскиза для будущих операций твердотельного моделирования важным шагом является параметризация эскиза. В случае УСП бывает частой ситуация, что два изделия могут принадлежать к одному наименованию, но отличаться исполнением. В таком случае, при правильно выполненной параметризации, достаточно лишь изменить значение нужного параметра. Рассмотрим параметризацию на примере УСП-16 «Прокладка прямоугольная».

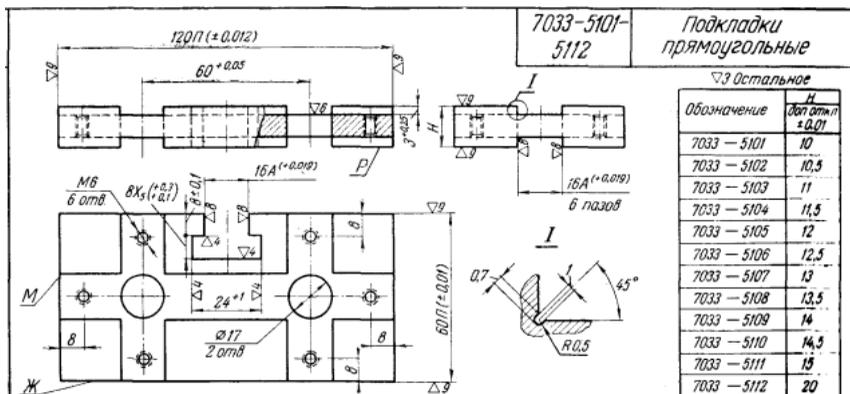


Рис. 2. Прокладка прямоугольная с вариантами исполнения [4]

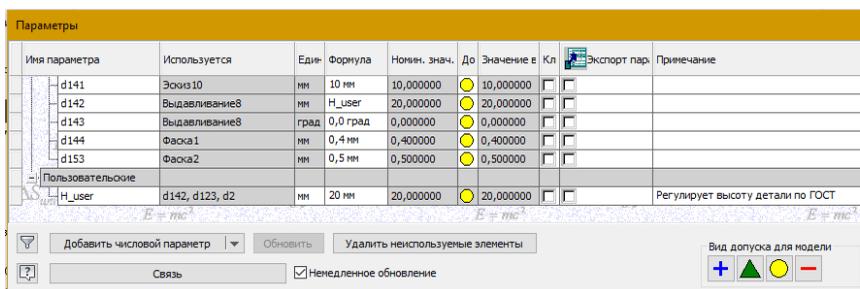


Рис. 3. Окно параметров в Inventor 2019

Autodesk Inventor с версии 2018 года поддерживает MBD – Model-Base Definition. MBD позволяет интегрировать производственную информацию, такую как размеры, предельные отклонения, допуски расположение и т. д. с 3D-моделью. Это позволяет инструментам ЧПУ прочитывать модель и произвести деталь. Идея в том, чтобы избежать генерации двумерных чертежей и как следствие уменьшить количество ошибок, совершаемых при разработке двумерного чертежа [2].

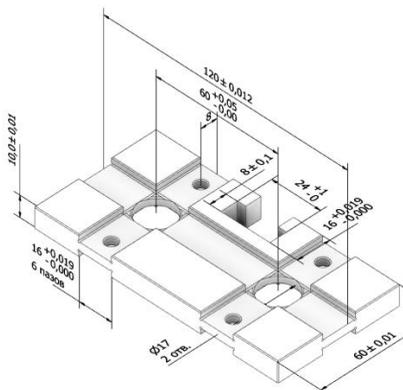


Рис. 4. Вариант исполнения УСП 7033-5101

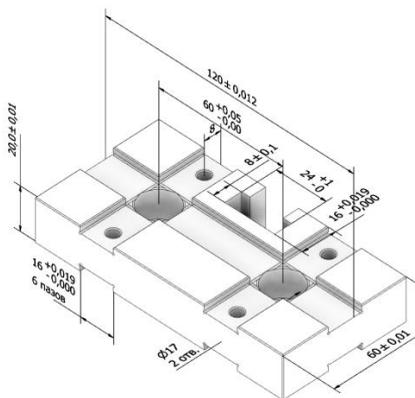


Рис. 5. Вариант исполнения УСП 7033-5112

Для удобства работы с универсально-сборными приспособлениями, в Inventor 2019 имеется возможность создать пользовательскую библиотеку с набором всех необходимых моделей.

Интеграция с облачными службами Autodesk позволяет ускорить такие процессы, как работа над чертежом/макетом с другими пользователями или визуализация 3D-изображения. При помощи облака выполнение задач, требующих большой вычислительной мощности, занимает несколько часов или даже минут, а не дней, и выполнять эти задачи можно практически в любое время и в любом месте.

Таким образом, работа в облаке позволит решить задачи повышения качества выполняемых работ и обеспечения оперативности конструкторско-технологической подготовки производства совместно с оптимизацией ввода результата работы в эксплуатацию на месте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калачёв О.Н.* Автоматизация проектирования в MCAD-системе сборок типовых приспособлений для механообработки / О.Н. Калачёв, Е.А. Чумак // Автоматизация и современные технологии. М., 2004. № 6. С. 18-25.
2. Ресурс isicad: Autodesk Inventor в сжимающихся тисках между Solid Works и Autodesk Fusion [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19361
3. Облачные службы Autodesk 360 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/360-cloud>
4. *Кузнецов В.С.* Универсально-сборные приспособления в машиностроении. Альбом чертежей / В.С. Кузнецов, Б.А. Пономарев. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1971. 170 с.

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D-СКАНИРОВАНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ НА КАФЕДРЕ КИ ТМС

А.С. Гуляев, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрена технология 3D-сканирования. Изучен вопрос её использования в учебном процессе на кафедре КИ ТМС. Разработана структура нового раздела дисциплины «Быстрое прототипирование функциональных моделей» учебного плана магистратуры. Предложен набор компетенций, проанализированы и представлены результаты оценки возможностей сканера.

***Ключевые слова:** 3D-сканирование, быстрое прототипирование.*

THE QUESTION OF USING 3D SCANNING IN THE EDUCATIONAL PROCESS AT THE DEPARTMENT OF CI TMS

A.S. Gulyaev, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

3D scanning technology is reviewed. The issue of use 3D scanning technology in the educational process at the CI TMS department has been studied. The structure of the new section of the discipline "Rapid prototyping of functional models" of the master's curriculum has been developed. A set of competencies is proposed, the results of the assessment of the scanner capabilities are analyzed and presented.

***Keywords:** 3D scanning, rapid prototyping.*

Технологии 3D-сканирования находят большее применение в современном машиностроении как на этапе проектирования, так и на различных этапах производства для контроля точности изготовления. По разным оценкам оно способно существенно экономить время в ходе про-

мышленного дизайна. Таким образом, практическое изучение различных аспектов объемного сканирования весьма актуально в учебном процессе по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

В работе дана классификация различных моделей 3D-сканеров и их производителей, показаны характерные области применения. На основе анализа разработок, представленных в интернете [1-5], разработана структура нового раздела дисциплины «Цифровое и быстрое прототипирование функциональных моделей» учебного плана магистратуры 15.04.05 направленности «Компьютерно-интегрированное машиностроение».

Предлагается формирование нескольких компетенций, связывающих результаты сканирования и их последующую обработку по следующим направлениям.

1) Получение натурального образца на 3D-принтере после выбора рационального положения модели средствами программного обеспечения слайсера,

2) Дальнейшая обработка (реверс-инжиниринг) результата сканирования с целью получения векторной модели и ее последующей геометрической корректировки в зависимости от функционального назначения детали,

3) Разработка управляющих программ для станка с ЧПУ на основе первичного и вторичного (векторного) файлов в зависимости от точности сканирования и потребностей производства.

Содержание лабораторного практикума оценивалось применительно к текущему оснащению – приобретённой на кафедре КИ ТМС модели 3D-сканера Shining3DEinScanSE. Для работы с нимиспользуется достаточно мощный ПК с объемом оперативной памяти 16 Гб.

Эксперименты с оценкой точности сканирования физических образцов размеров, не выходящих за пределы рабочего стола этого сканера, подтвердили достаточно высокую точность воспроизведения сложных объемных поверхностей. Выполнена серия экспериментов с изучением влияния шагавращения поворотного стола на качество формируемой цифровой модели, а также количества и особенностей расположения образца на вращающемся столе с точки зрения качества «сшивки» сканированных фрагментов. На рис. 1 показан общий вид сканера в ходе обработки детали и отображение процесса сканирования на экране.

В ходе работы было выявлено, что при сканировании объектов с отражающей поверхностью, такой как у полированной металлической детали, оптический свет отражается и приводит к большим погрешностям трехмерной модели, поскольку сканер не получает полного облака. Прозрачный материал, такой как стекло, также является проблемным для 3D-

сканирования, поскольку не отражает излучение, и не возвращает данные на сканер. В таких ситуациях было применено покрытие объекта аэрозольной “матирующей” краской [2].



Рис. 1. Процесс сканирования объекта и происходящее на экране программы



Рис. 2. Типовая деталь для сканирования и её прототип

В итоге проведенного исследования предложена методика рациональной работы со сканером при проведении лабораторных работ в учебном процессе магистратуры направления 15.04.05 по дисциплине «Быстрое прототипирование функциональных моделей».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт разработчика Shining 3D EinScanSE [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.einscan.com>
2. Влияние материала на сканирование [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://wiki.xyzprinting.com/3d_scanner/en/tips-material/
3. 3D-сканирование в интересах 3D-моделирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.comprice.ru/articles/detail.php?ID=40134>
4. 3D-сканирование [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/40561/1/tmuenin-2016-38.pdf>
5. Практический подход к реверсивному инжинирингу [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sapr.ru/article/8120>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ КОНСТРУКТОРСКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА

И.М. Дресвянин, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрена схема развёртывания системы ЛОЦМАН:PLM 2018 и её использование при моделировании коллективной работы в условиях университета. Варианты подключения сервера базы данных, сервера лицензий, сервера приложений и клиентских приложений между собой.

Ключевые слова: Лоцман, PLM, коллективная работа, ПО, сервер, клиент, база данных.

SIMULATION OF CONSOLIDATED INFORMATION FOR DESIGN ENGINEERING PREPRODUCTION

I.M. Dresvyanin, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The scheme of system LOTSMAN:PLM 2018 and its use in collaboration modeling in the University is considered. The database server login options, license server, appservers and client applications software are considered.

Keywords: Lotsman, PLM, teamwork, SOFTWARE, server, client, database.

В результате обучения по направлению 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств осваивается компетенция совместной командной работы конструкторов и технологов при подготовке производства. Вопросы практической реализации взаимодействия проектировщиков предлагается изучать в ходе практики по НИРв среде ЛОЦМАН:PLM, развёрнутой на кафедре КИ ТМС.

Система ЛОЦМАН:PLM 2018 [1, 2] представляет собой распределенную информационную систему, в которой выделены клиентская и серверная части. Участники проектной команды связаны единой базой данных, посредством ПО клиентов, развернутых на нескольких ПК. Приложение, относящееся к клиентской части ЛОЦМАН:PLM, подготавливает данные по деталям и узлам изделия, формирует дерево разнородной информации об изделии, осуществляет обмен информацией с другими пользователями-проектировщиками через разделяемую БД, поддерживаемую на сервере комплекса.

Задачи конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП): разработка и согласование конструкторской документации, внесение изменений в КД, проведение извещений, разработка технологических процессов изготовления деталей, материальное разработка маршрутов согласования и изготовления изделий и др. Всё это можно координировать при помощи системы ЛОЦМАН:PLM, но прежде ее необходимо установить и настроить.

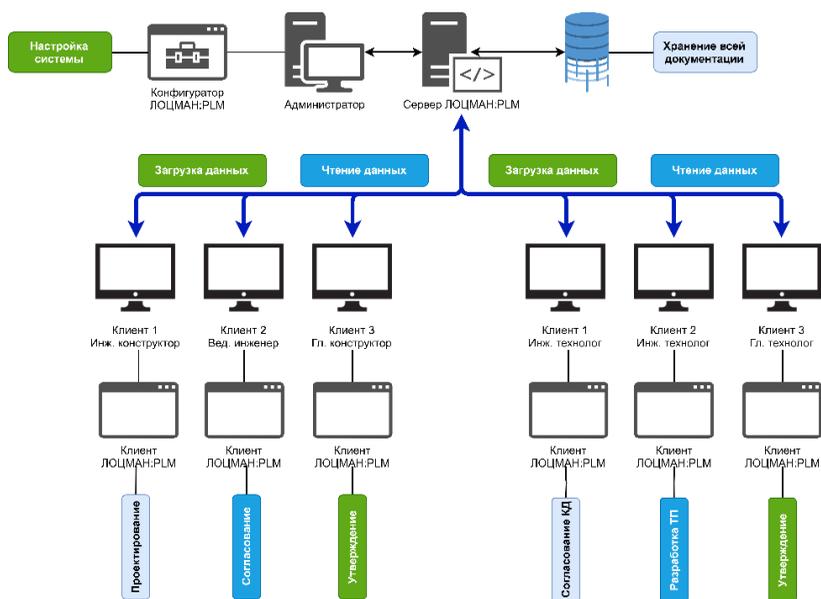


Рис. 1. Схема работы пользователей при КТПП

На рис. 1 показана предлагаемая схема работы пользователей-магистрантов при изучении КТПП. Суть заключается в следующем, на пользовательских компьютерах установлены клиентские приложения, соединенные непосредственно сервером. При работе в клиентском приложении пользователь создает, загружает данные по сети на сервер базы данных или использует их для работы.

Для настройки коллективной работы в системе ЛОЦМАН:PLM есть модуль настройки баз данных – «ЛОЦМАН конфигуратор». В конфигураторе создан список типов объектов, заданы их свойства, установлены способы взаимодействия между объектами [3, 4].

При помощи модуля «ЛОЦМАН конфигуратор» нами определены:

- модель данных – наборы атрибутов, документов, типов, состояний, связей, с помощью которых могут быть описаны информационные объекты конструкторско-технологического проектирования (3D-модели, чертежи, операционные и маршрутные карты) и взаимосвязи между ними;
- список субъектов – набор ролей, пользователей, которые будут оперировать информационными объектами;
- организационная структура предприятия, эксплуатирующего систему ЛОЦМАН:PLM;
- состояния жизненного цикла, которые проходят проектные документы (проектирование, доработка, утверждение, создание версии);
- ряд других параметров, необходимых для работы с системой ЛОЦМАН:PLM.

Для настройки доступа к определенным типам объектов, папкам и файлам, каждому пользователю присвоили определенные роли. Но перед этим были созданы эти роли и заданы им права доступа на каждый тип объекта, документа. На рис. 2 видно, что к роли «Конструктор» относятся несколько пользователей. Перейдя во вкладку «Права доступа» выберем тип документа и увидим уровни доступа для пользователя с ролью «Конструктор» на каждое состояние документа. В свою очередь эти состояния тоже настраивались, присваивались к каждому типу документа и определялось кто мог переводить объект из одного состояния в другое.

От настроек, сделанных в модуле ЛОЦМАН конфигуратор, зависит вся дальнейшая работа системы. Поэтому настройка выполнялась с привлечением опытных специалистов с ОАО завод «Пролетарская свобода», обладающих полной информацией о производственных процессах предприятия, где планируется эксплуатация системы.

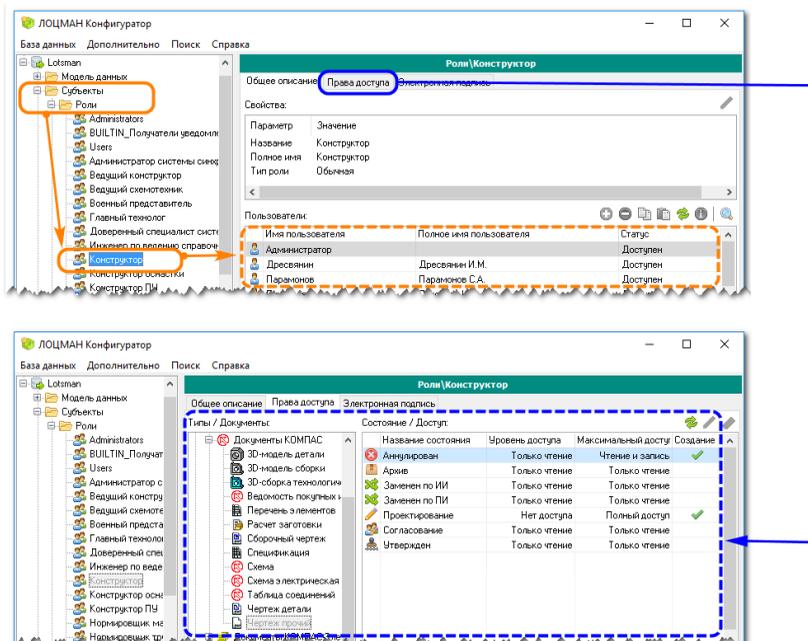


Рис. 2. Настройка прав доступа для роли

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплекс решений Аскон 2018. Установка и первичная настройка. ООО «АС-КОН-Бизнес-решения», 2018. 58 с.
2. Калачев О.Н. Адаптация PDM-системы Лоцман:PLM к условиям машиностроительного предприятия / О.Н. Калачев, М.А. Чистов // Труды Восьмого международного симпозиума "Интеллектуальные системы" (INTELS'2008). М.: РУСАКИ, 2008. С. 607-610.
3. Калачев О.Н. Создание компьютерно-интегрированного комплекса для отслеживания учебной деятельности студента на основе PDM-системы ЛОЦМАН:PLM // Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции "Новые материалы и технологии" НМТ-2008. М.: МАТИ, 2008. С. 172-173.
4. Баранов С.Ю. Адаптация возможностей Лоцман:PLM в дипломном проектировании с учетом специфики машиностроительного предприятия XXXVIII Гагаринские чтения: научные труды Международной молодежной научной конференции в 8 томах, Т. 4. Москва, 10-14 апреля 2012 г. М.: МАТИ, 2012. 176 с.; 2012, Т. 4. С. 104-105.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ FDM/FFF 3D-ПРИНТЕРА В БЫСТРОМ ПРОТОТИПИРОВАНИИ

Е.И. Елисейкин, А.В. Крыцков, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В работе рассматривается подготовка рабочего стола FDM/FFF 3D-принтера для реализации прототипа изделия. Предложено устройство, предотвращающее деламинацию изделия, и апробированное печатью ABS и PLA-филаментами на кафедральном 3D-принтере MZ3d-256 без подогрева стола.

Ключевые слова: рабочий стол 3D-принтера, печатная пластина, деламинация.

RAPID PROTOTYPING COMPUTER-ASSISTED PLANNING OF FDM/FFF 3D PRINTER SPECIAL FEATURES

E.I. Eliseykin, A.V. Krytskov, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Preparation of a build plate of FDM/FFF of the 3D-printer for implementation of a prototype of a product is considered. The delamination preventing device is offered and tested by ABS and PLA filaments of MZ3d-256 3D printer without bed heating.

Keywords: build plate, print surface, delamination.

С развитием технологий 3D-печати методами послойного наплавления филамента (FDM/FFF), их популяризацией в быстром прототипировании (БП) и ремонте деталей и узлов, возрастает и модельный ряд оборудования, реализующего данные технологии. Так отдельный класс FDM/FFF 3D-принтеров представлен мини- и микропринтерами упрощенной конструкции (BQWitboxGO, M3DMicro, 3DSystemsCUBE, и т.д.),

и не предусматривающими установку нагревательного элемента стола, наряду также с моделями со стандартной компоновкой (XYZDaVinciMini, TevoMichelangelo, и т. д.).

Отсутствие подогрева стола, базового адгезионного покрытия или его быстрый износ, приводят к столкновению пользователей FDM/FFF 3D-принтеров с деламацией – преждевременным отлипанием и деформированием изделия. Причиной отлипания является утрата адгезии между контактной поверхностью стола и слоями филамента в основании детали[1].

Проблема актуальна не только при использовании ABS-филаментов с повышенной усадкой в 0.8-1%. Печать пластиком PLA на холодном столе также затруднена и приводит к необходимости построения детали поверх толстого слоя – подложки (raft). Таким образом, значительно увеличиваются расход материала и время изготовления.

Представляет интерес разработка и реализация специального адгезионного покрытия, предназначенного для установки и работы в 3D-принтерах, как с подогреваемым рабочим столом, так и без. Покрытие должно быть выполнено быстросъёмным, иметь несколько контактных поверхностей, устойчивых к многократной печати.

На основе данных критериев нами было предложено простое устройство, состоящее из дисковой полимерной пластины и силиконовых прижимов с шиповым соединением для ее быстрой фиксации на столе принтера. Материалом пластины были выбраны двухкомпонентные полиуретановые пластики LasilCast 2 и 1515[2].

Реализация устройства состояла из отдельных этапов. Основным из них являлось изготовление пластины – обработка пластиковой заготовки на кафедральном фрезерном станке с ЧПУ Amap 3040. Для получения УП станка, модель пластины была сконvertирована из .dwg в формат .stl и загружена в систему Autodesk ArtCAM 2018, где также выбирались заготовка и тип фрезы.

В ходе выполнения обработки на станке (рис. 1) была отмечена большая подверженность деформациям заготовки из LasilCast 1515, в сравнении с LasilCast 2 (рис. 1), что определило окончательный выбор типа полиуретана из данной серии пластиков.

Второй этап изготовления устройства - апробация пластины, изготовленной из LasilCast 2, проведен на кафедральном FDM/FFF 3D-принтере MZ3d-256. В качестве тестирующей детали разработана форма для отливки силиконовых прижимов пластины (рис. 2). Модель формы также сконvertирована из .dwg в формат .stl и подготовлена к печати в слайсере Cura, версии 15.04.6 RU. Материалом печати выбран филамент PLA Silverot FDPlast (рис. 3).

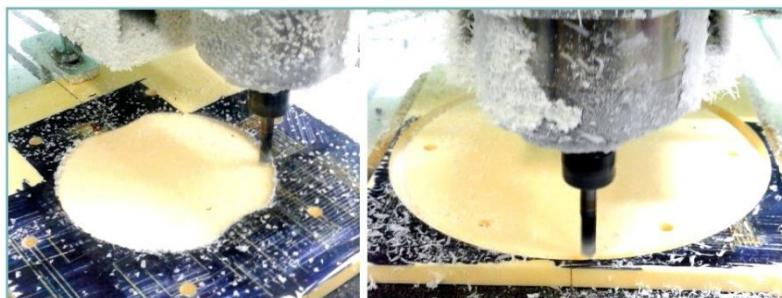


Рис. 1. Обработка заготовки из полиуретана LasilCast 2

Печать PLA на пластине без подогрева стола показала удовлетворительные результаты. В дальнейшем, уже на собранном устройстве, ABS-филаментом RECGreen и FDXPLASilver напечатаны пластинчатые детали, также без деламинации (рис. 4).

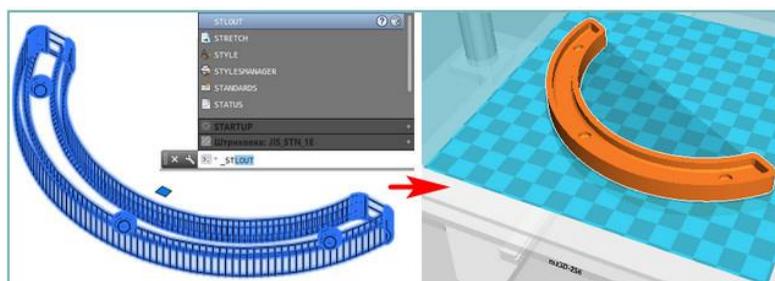


Рис. 2. Модель формы, сконвертированная в формат .stl и загруженная в слайсер Cura 15.04.6 RU

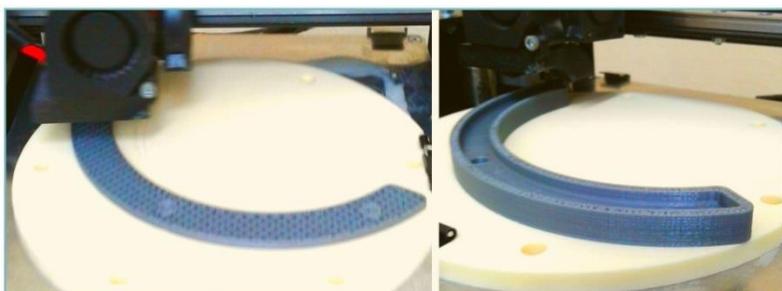


Рис. 3. Стадии печати тестирующей детали на пластине из LasilCast 2

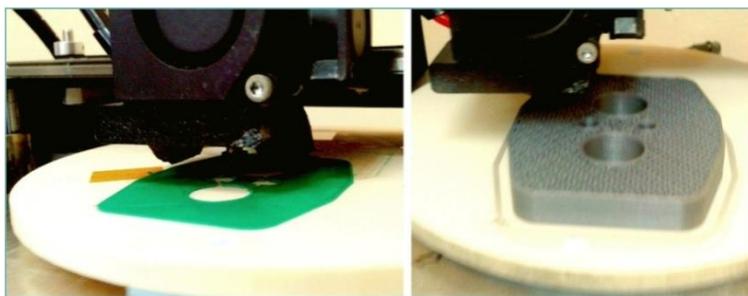


Рис. 4. Печать пластинчатых деталей ABS- и PLA-филаментами на готовом устройстве без подогрева стола

В дальнейшем требуется изготовить образцы с большими размерами, например, для стола принтера Anycubic3 Mega. Однако в настоящий момент устройство уже может быть использовано в конструкциях минипринтеров, решая большинство из поставленных ранее задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 3D Prints Warping or Curling? – Why It Happens and How to Prevent It [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rigid.ink/blogs/news/3d-prints-warping-why-it-happens-and-how-to-prevent-it>.
2. Литьевые пластики полиуретановые серии LasilCast [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lassospb.ru/products/category/plastik-jidkii-poliuretan-kupit>.

СБОРКА И ПРОГРАММИРОВАНИЕ МАНИПУЛЯТОРА НА ПЛАТФОРМЕ ARDUINO С УПРАВЛЕНИЕМ ОТ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА

М.С. Ермаков, А.А. Кулебякин

Научный руководитель – **А.А. Кулебякин**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается процесс сборки и программирования манипулятора на платформе Arduino, управления им с персонального компьютера.

Ключевые слова: манипулятор, захватное устройство, Arduino, MeCon.

ASSEMBLY AND PROGRAMMING OF THE PC CONTROLLED ARDUINO ROBOTIC ARM

M.S. Ermakov, A.A. Kulebyakin

Scientific Supervisor – **A.A. Kulebyakin**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper examines the process of assembly, programming and controlling of the Arduino robotic arm by PC.

Keywords: manipulator, robot, robotic arm, robotic claw, Arduino, MeCon.

С увеличением серийности производства существенно возрастает необходимость в сокращении затрат времени и средств на производственные операции. Одним из основных методов снижения затрат человеческого труда и ускорения процессов производства является автоматизация. Применение промышленных роботов на производстве имеет ряд преимуществ, по сравнению с применением живого труда:

- повышение производительности труда за счет уменьшения операционного времени и непрерывной работы;

- улучшение качества изготавливаемой продукции, за счет повышенной точности выполнения технологических операций;
- уменьшение издержек производства и, следовательно, повышение конкурентоспособности.

По этим причинам процент применения промышленных роботов на современных производственных предприятиях неуклонно растет.

Основными задачами при работе с промышленным роботом является его программирование на выполнения необходимой задачи и его техническое обслуживание для обеспечения непрерывности производства. В данной статье рассматривается процесс сборки и программирования манипулятора на платформе Arduino, а также управление им при помощи персонального компьютера (ПК).

За основу был взят комплект, в который входит: набор деталей из акрилового стекла (рис. 1), плата ArduinoUno, плата расширения Arduino Sensor Shield, четыре сервопривода, два джойстика, провода, набор крепежных элементов, USB-кабель для подключения к ПК, адаптер питания для питания от сети. Схема подключения электронных компонентов была создана в программе Fritzing (рис. 2).

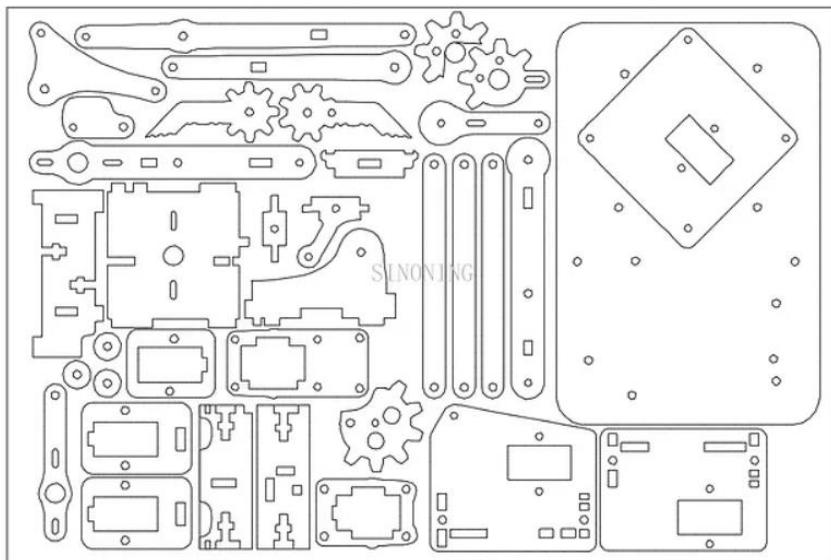


Рис. 1. Набор акриловых деталей

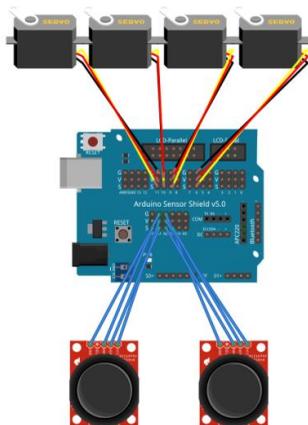


Рис. 2. Схема подключения

Комплект собирался по инструкции к сборке [1]. В процессе сборки манипулятора одна из деталей была сломана. Было принято решение воссоздать ее методом 3D-печати. Сломанная деталь была измерена и была создана ее 3D-модель в программе AutodeskInventor (рис. 3), после чего экспортирована в формат «.stl» и передана в программу подготовки 3D-печати UltimakerCura. Печать проводилась на кафедральном принтере Anycubic I3 Mega.

После успешной сборки манипулятора (рис. 3) можно переходить к его программированию.

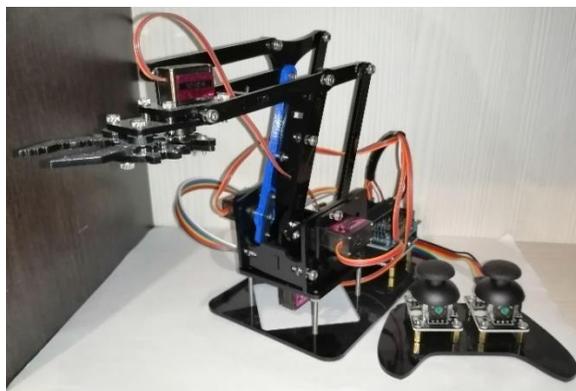


Рис. 3. Манипулятор в собранном виде

Для программирования контроллера Arduino применяется одноименная среда программирования ArduinoIDE. Структура и доступные команды языка описаны на официальном сайте Arduino [2]. Манипулятор необходимо предварительно подключить к компьютеру при помощи USB кабеля. В процессе разработки программы была использована библиотека для работы с сервоприводами. В программе необходимо инициализировать все сервоприводы, задать их максимальные углы поворота, исходя из их движения в реальной конструкции и задать ожидание команд от программы управления на ПК.

В качестве программы управления была выбрана программа MeCon 1.5. Интерфейс программы представлен на рис. 4.

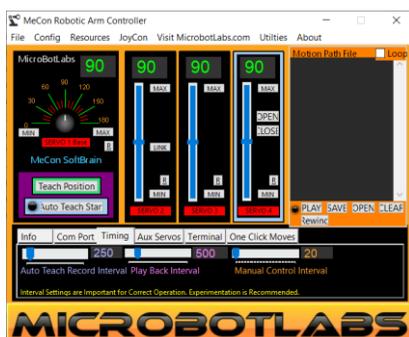


Рис. 4. Интерфейс программы управления манипулятором MeCon

При помощи этой программы можно управлять каждым приводом по отдельности вручную, сохранять текущую позицию и составлять из набора позиций управляющую программу, либо физически перемещая рабочий орган манипулятора, производить запись управляющей программы.

Таким образом, был собран робот-манипулятор и освоено его программирование с возможностью создания управляющей программы на ПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 4DOF arduino Roboticarm ps2 mg90s SNAM1900 Manual [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sinoning.cc/single-post/2017/12/24/4DOF-arduino-Robotic-arm-ps2-mg90s-SNAM1900-Manual>
2. Arduino Language Reference [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.arduino.cc/reference/en/>

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ПРОТОТИПА НАСТОЛЬНОГО СТАНКА С ЧПУ

Ю.С. Жиделева, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается проект создания цифрового прототипа фрезерного станка с ЧПУ, в среде InventorAutodeskProfessional 2019, предназначенного для обработки деталей из цветных сплавов. Используются инструменты параметризации 3D-моделей для обеспечения сопряжения оригинальных деталей совместно с покупными элементами..

Ключевые слова: цифровое прототипирование, станок с ЧПУ, Inventor Autodesk Professional 2019, 3D-модель.

THE DIGITAL PROTOTYPE OF A CNC DESKTOP MACHINE DEVELOPMENT

Yu.S. Zhideleva, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

A project is being considered to create a digital prototype of a CNC grain grinder in the environment of Inventor Autodesk Professional 2019, designed for machining non-ferrous alloys. Used t parametrization tools of 3D-models to ensure the pairing of original parts together with the purchased items.

Keywords: digital prototyping, CNC machine, Inventor Autodesk Professional 2019, 3D model.

В работе рассматриваются вопросы комплексного проектирования цифрового прототипа оригинального фрезерного станка с ЧПУ с после-

дующим изготовлением деталей на оборудовании кафедры «Компьютерно-интегрированная технология машиностроения».

На начальном этапе проектирования было разработано техническое задание, устанавливающее допустимый диапазон усилий резания при обработке различных заготовок. На основании этих данных составлена расчетная схема конструкции и выполнен прочностной расчет и последующий анализ напряженного состояния в процессе эксплуатации. Полученные данные использованы для выбора таких комплектующих как винтовые пары, двигатели, муфты, драйвера, блок питания и шпиндель.

В ходе цифрового моделирования в системе Инвентор создавались цифровые прототипы деталей конструкции, выполнялась экранная сборка, которая позволила уточнить габариты покупных деталей, детализировать сформированный заказ на приобретение комплектующих. Первая партия включала: *Винт ШВП SF 1605*, который служит для передачи вращательного движения в возвратно-поступательное и наоборот, охватывающая его *гайка ШВП SFU 1605*, являющаяся составным узлом, *линейный подшипник TBR* установленный на направляющие валы на опоре (цилиндрические рельсы в нашем случае) и применяются в качестве линейных направляющих в системах точных перемещений, также *опоры винтов BF и BK*, они служат для установки ходового винта ШВП, *система охлаждения*, которая предназначена для подачи смазочно-охлаждающей жидкости в область резания (в нашем случае – под фрезу) с целью охлаждения инструмента и снижения контактного трения.

В ходе технологических расчетов проектировалась УП обработки деталей корпуса и основания станка (рис.1) в CAD/CAM системе Сimatron E.

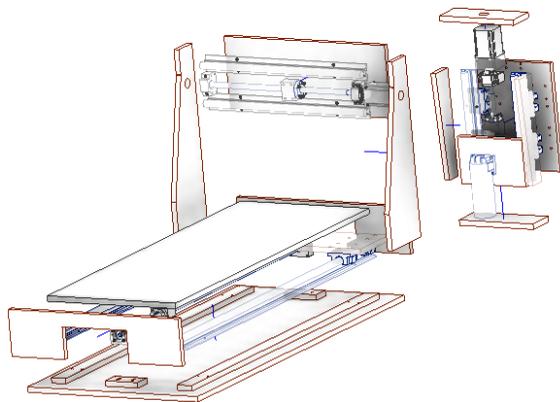


Рис. 1. Детали корпуса и основания станка

Финансирование проекта обеспечило МИП АйТиТехмаш, созданное при кафедре КИ ТМС.

Для повышения эффективности на заключительной стадии проектирования ряд 3D-моделей выполнялся параметрическим, что облегчает подгонку спроектированных деталей, совместно с покупными элементами. На рис. 2 в среде Inventor представлена одна из сборок 3D-моделей – рабочая ось Z, в реалистичном и каркасном стиле отображения.

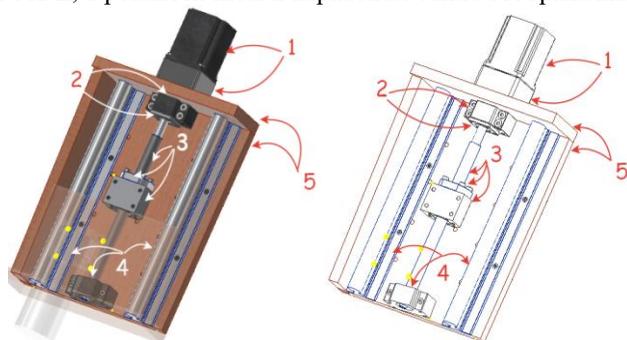


Рис. 2. Рабочая ось Z

- 1) Шаговый двигатель Nema с редуктором 1:5, 2) Опора ШВП ВК-12 3) Винт, гайка, модуль крепления гайки, 4) Направляющие (рельс цилиндрический), опора ШВП ВФ-12, 5) Детали корпуса

Каждая деталь для станка создавалась в отдельном файле. Фрагмент порядка компоновки деталей представлен в дереве сборки на рис. 3.

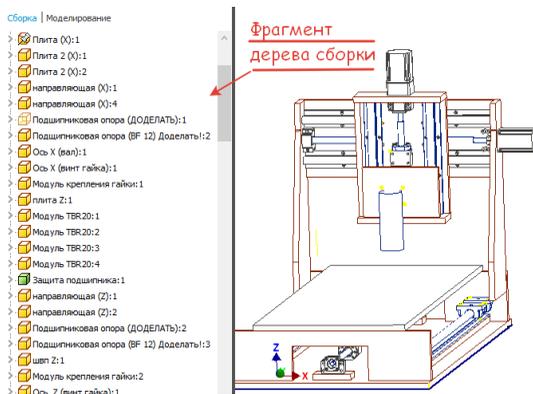


Рис. 3. ШВП в сборке

На рис. 4 законченный узел 3D-модель сборки фрезерного станка с ЧПУ, на котором указаны габаритные размеры и направление движения осей.

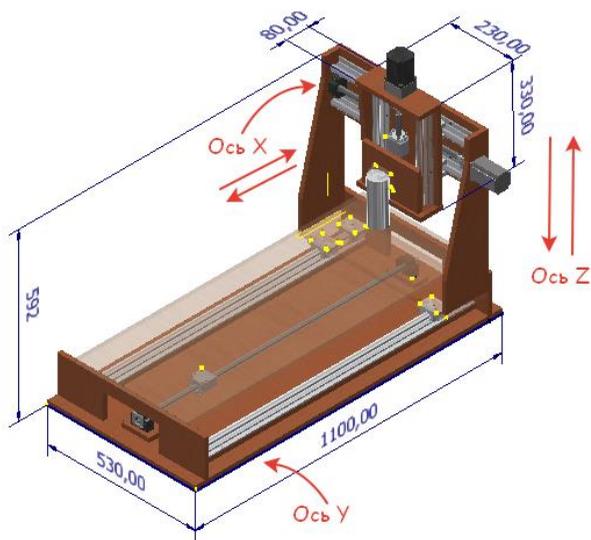


Рис. 4. Сборка фрезерного станка с ЧПУ

Таким образом, поставленная задача коллективного проектно-ориентированного задания на выполнение ВКР позволила освоить взаимосвязанные компетенции, необходимые инженеру, выполняющему конструкторско-технологическое проектирование в условиях действующего производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронный каталог «Duxe.ru». Поставщик запасных частей и комплектующих для станков с ЧПУ и автоматики. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.duxe.ru/catalog/>;
2. Электронный каталог «CNC Technologi». Производство и продажа фрезерно-гравировальных станков и комплектующих к ним: [Электронный ресурс]. URL: <https://cnc-tehnologi.ru/>;
3. Autodesk Inventor. Технология цифровых прототипов для машиностроения и промышленного производства: [Электронный ресурс]. URL: http://images.autodesk.com/emea_apac_main/files/inv10_techwhatsnew_us00.pdf.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОЛЛЕКТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СРЕДСТВАМИ ЛОЦМАН:PLM

В.Н. Киселев, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются вопросы внедрения PDM-системы и создания ЕИП при КТПП, результаты и методы.

***Ключевые слова:** PDM, Лоцман:PLM, САД, Компас, дерево изделия, жизненный цикл изделия, конфигурирование.*

COLLABORATIVE DESIGN BY MEANS OF LOTSMAN:PLM REALIZATION

V.N. Kiselev, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The issues of the implementation of the PDM-system and the creation of a single information space in the design and technological preparation of production, the results and methods of solving the problems are considered.

***Keywords:** PDM, Lotsman:PLM, CAD, Compass, product tree, product life cycle, configuration.*

«Задачей исследования является развертывание системы Лоцман:PLM на кафедре КИ ТМС и создание единого информационного пространства (ЕИП) для имитации совместной работы по управлению жизненным циклом и комплексной информацией об изделии при машиностроительном компьютерно-интегрированном проектировании» [1, 2].

Архитектура развернутой для проведения исследовательской работы магистрантов направления 15.04.05 PDM-системы представлена на рис. 1.

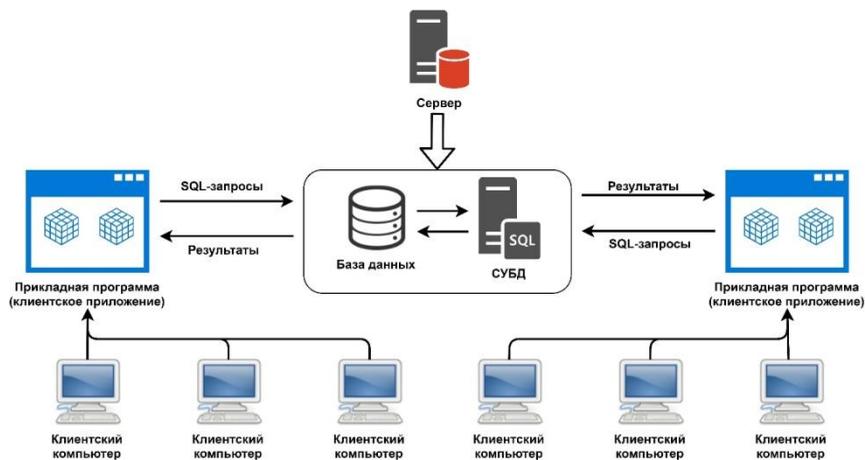


Рис. 1. Архитектура «клиент-сервер»

В качестве примера функциональности сформировано структурированное дерево изделия на примере колесной пары электровоза ЭП2К. Исходными данными является набор сканированных копий конструкторской документации в формате «TIF».

При формировании дерева изделия (рис. 3) (СЕ, деталей, стандартных и покупных изделий, и т.д.), в первую очередь, создавалась одноименная папка изделия. В данной папке оформлен элемент типа «Сборочная единица» и для него заполнена атрибутивная информация (рис. 4) в соответствии со спецификацией СЕ (рис. 3, 5).

«Для хранения документации (руководств, схем и т.д.), относящейся к СЕ, использовали объект типа «Документ» с его атрибутами» [3, 4].

После создания элементов, в соответствии со спецификацией (см. рис. 2, 3), проводилась проверка на наличие недочетов и, в случае обнаружения таковых, проводилось редактирование.

4	ЭП2К.0248-04	Левин	10.11.08	ЭП2К.31.15.000СБ					
3	ЭП2К.0247-2008	Левин	16.11.2008						
2	ЭП2К.0233-2008	Левин	03.11.08						
1	ЭП2К.0143-08	Левин	12.01.08						
Изм/Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Пара колесная			Лист	Масса
Разраб.	Григорьев	Левин	16.11.08	0				2973	15
Проб.	Князев	Левин	16.11.08	0				2955	
Т.контр.	Новиков	Левин	16.11.08	Лист				Листов	1
Нач.отд.	Рязанкин	Левин	16.11.08	УГЛ					
Н.контр.	Кузьмин	Левин	16.11.08						
Утв.	Григорьев	Левин	16.11.08						

Рис. 2. Основная надпись

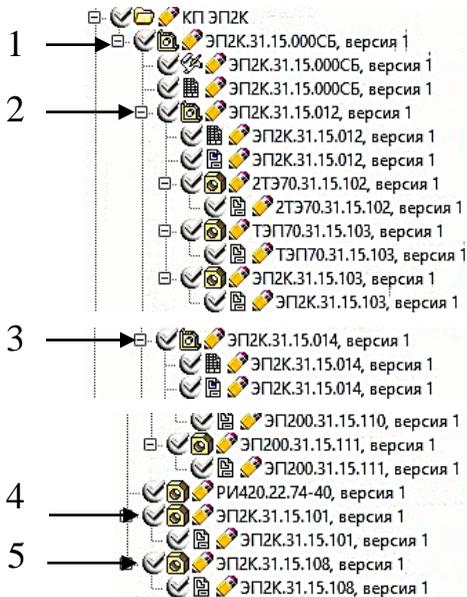


Рис. 3. Фрагменты дерева изделия

Поз	Обозначение	Наименование	Примечание
0	ЭПК.31.15.000СБ	Пара колесная	

Отдел разработки ОГК Разработал Гребенников Дата последнего изменения 01.12.2010	Раздел спецификации Источник поступления Масса 2973.3 кг
-------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------

Состояние: Проектирование

Количество: в диапазоне... Величина: Не определено Ед. изм.

Рис. 4. Карточка изделия согласно спецификации

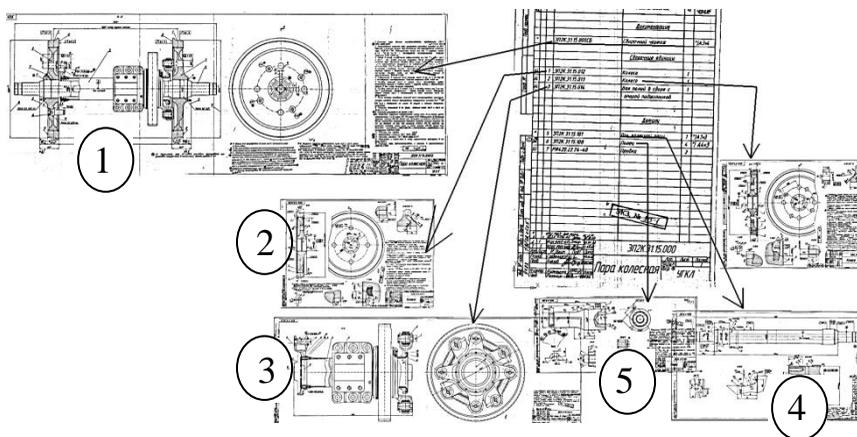


Рис. 5. Состав СЕ «Колесная пара»

Данная работа отражает первый этап подготовки информационно-исследовательского лабораторного практикума и представляет интерес для формирования новых компетенций по организации коллективного

проектирования в ходе проектно-ориентированного учебного процесса на кафедре КИ ТМС по направлениям 15.03.05 и 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». В качестве учебных заданий использовались бизнес-процессы и техническая документация двух ярославских машиностроительных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калачев О.Н.* Опыт использования PDM-системы ЛОЦМАН в организации учебного процесса на кафедре технологии машиностроения // Проблемы информатизации образования. Материалы Всеросс. научн.-техн. конф. Тула: ТулГУ, 2008. С. 30-32.
2. *Калачев О.Н.* К вопросу подготовки оригинальных отчетов на основе исследования структуры БД Лощман:PLM и запросов на языке T-SQL / О.Н. Калачев, С.Ю. Баранов // Там же, с. 247-251;
3. «Комплекс решений АСКОН 2018. Установка и первичная настройка». ООО «АСКОН-Бизнес-решения», 2018. 58 с.
4. *Яблочников Е.И.* Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия: Учебное пособие / Е.И. Яблочников, Ю.Н. Фомина, А.А. Саломатина. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. 188 с.

УДК 62.114

КОМПЛЕКТОВАНИЕ И РАСЧЕТ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАЛАДОК В ГИБКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А.А. Кругликов, К.А. Украженко

Научный руководитель – **К.А. Украженко**, д-р техн. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрен расчет упругих перемещений инструментальных наладок от сил резания при обработке на многоцелевых станках.

***Ключевые слова:** инструментальные системы, модули, наладки, технология, упругие перемещения, погрешность обработки.*

COMPLETING UNITS OF MACHINES AND TOOLING SETUPS CALCULATION FOR A FLEXIBLE FABRICATION

A.A. Kruglikov, K.A. Ukrazhenko

Scientific Supervisor – **K.A. Ukrazhenko**, Doctor of Technical
Sciences, Professor

Yaroslavl State Technical University

The calculation of elastic displacement of tooling setup of cutting forces when machining on multipurpose machines is considered.

***Keywords:** tooling systems, modules, setup, technology, elastic displacements, and error handling.*

Гибкое производство характеризуется безлюдной технологией изготовления продукции широкой номенклатуры. В связи с этим каждый элемент технологической системы должен иметь высокую надежность, работоспособность и быструю переналадку. Особенно это касается инструментальных систем, представляющих собой набор инструментальных модулей широкой номенклатуры и типоразмеров, предназначенных для создания инструментальных наладок [1].

Структурная схема комплектования инструментальных наладок представлена на рис. 1. Как видно из рисунка, инструментальные наладки представляют собой минимальный набор определенных инструментальных наборов модулей (базовых, переходных и т.д.), скомплектованных в единый узел, необходимый для выполнения технологической операции (стрелками показан порядок и набор инструментальных модулей для выполнения необходимых технологических задач).



Рис. 1. Схема комплектования инструментальных наладок

На рис. 2 представлена скомплектованная инструментальная наладка для осевых инструментов: сверл, разверток, метчиков, концевых фрез и д.р.

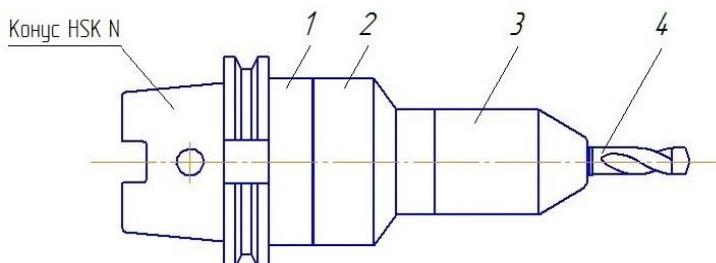


Рис. 2. Инструментальная наладка для осевых режущих инструментов с используемыми модулями: 1 – базовым; 2 – переходным; 3 – конечным; 4 – режущим инструментом

Целью данной работы является расчет критериев в значительной степени определяющих точность обработки. Основным критерием для расчета инструментальных систем являются упругие перемещения, от сил резания, составляющие до 70% от всех погрешностей при механической обработке в гибких производствах.

Суммарное значение упругих перемещений δ при сборке наладок определяется по формуле

$$\delta = \sum_1^n \delta_0 + \sum_1^n \theta_0 \cdot L$$

Ввиду высокой собственной жесткости соединяемых модулей упругими перемещениями δ_c можно пренебречь, т.е. $\delta_c = 0$.

Упругие перемещения δ_0 и угол наклона θ_0 в начале стыка для каждого конусного модуля определяются из выражений [2]:

$$\delta_0 = (2M\beta^2 k/B)C_1 + (2P\beta k/B)C_2 = (2P\beta k/B)(\beta LC_1 + C_2),$$

мкм;

$$\theta_0 = (4M\beta^3 k/B)C_3 + (2P\beta^2 k/B)C_4 = (2P\beta^2 k/B)(2\beta LC_3 + C_4),$$

мкм/мм,

где P – сила резания, Н;

L – расстояние от кромки стыка до сечения приложения нагрузки,

мм;

k – коэффициент контактной податливости стыка, мкм · мм²/Н;

β – показатель жесткости стыка, 1/мм,

$$\beta = \sqrt[4]{B \cdot 10^3 / 4E \cdot I \cdot k};$$

E – модуль упругости, Н/мм², для стали $E=2,1 \cdot 10^5$;

I – момент инерции хвостовика в начале стыка, мм⁴, $I = \pi \cdot D^4 / 64$;

B – приведённая ширина стыка, мм, $B = 0,5\pi \cdot D$;

C_1, C_2, C_3, C_4 – поправочные коэффициенты, для соединений HSK,

$C_1 \approx C_2 \approx C_3 \approx C_4 \approx 1$;

n – число модулей в инструментальной наладке.

Данный расчет позволяет оценить технологические возможности скомпонованной инструментальной наладки на этапе проектирования инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Украженко К.А.* Повышение эффективности обработки на многоцелевых станках: Монография. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2008. 340 с.
2. *Украженко К.А.* Инструментальные системы машиностроительных производств: Монография. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2015. 224 с.

**РАСЧЕТ ТЕМПА ИЗНОСА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ
ПРОТЯЖЕК ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ
ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ОПТИМАЛЬНЫХ
РЕЖИМАХ РЕЗАНИЯ**

А.В. Крылов, А.М. Шапошников

Научный руководитель – **А.М. Шапошников**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрена формула темпа износа при точении на оптимальных режимах резания и получена собственная формула при протягивании деталей газотурбинных двигателей на оптимальных режимах резания, расчет ведется по жаропрочному материалу ЭИ 437БУВД, опытные значения для этого материала взяты из справочных материалов.

Ключевые слова: Протягивание деталей ГТД, ЭИ437 БУВД, темп износа инструмента.

**THE RATE OF ATTRITION OF CARBIDE BROACH
CALCULATION WHEN MACHINING PARTS OF GAS
TURBINE ENGINES IN BEST CUTTING CONDITIONS**

A.V. Krylov, A.M. Shaposhnikov

Scientific Supervisor – **A.M. Shaposhnikov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The formula of the rate of attrition when turning the best cutting conditions is considered and the formula when pulling parts of gas-turbine engines at optimum cutting condition is derived, the calculation is based on the heat-resistant material EI 437BVD, experimental values for this material are taken from reference materials.

Keywords: Pulling the parts of the CCD, EI437 BWA, tool wear rate.

Появление современных протяжных станков, позволяющих в широком диапазоне проводить регулировку скорости резания, дает возможность осуществить процесс протягивания при поддержании оптимальных температур резания. За оптимальную температуру принимается такая, при которой темп износа инструмента минимален. По закону профессора Макарова А.Д. это температура является оптимальной для пары обрабатываемый-инструментальный материал. В диссертационной работе Туктамышева В.Р. представлен график зависимости темпа износа инструмента и температуры резания от скорости протягивания при обработке жаропрочного сплава ЭИ437 протяжкой из ВК8 (рис. 1).

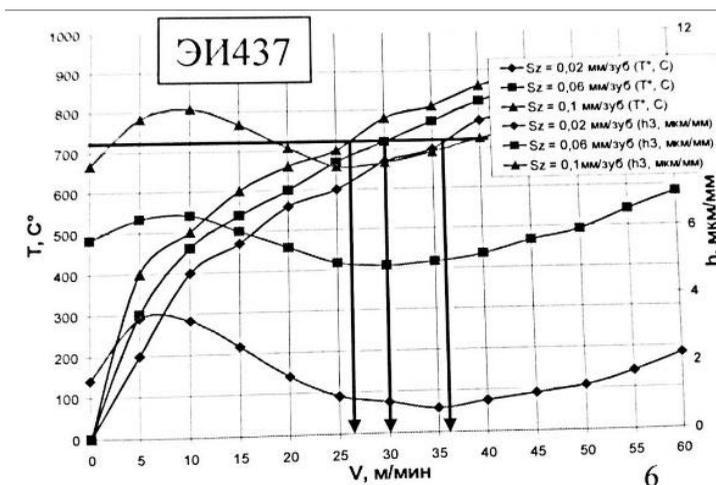


Рис. 1. Опытные значения при протягивании

График показывает, что при различных подачах температура, соответствующая минимуму темпа износа инструмента остаётся постоянной 720 °C и можно определить оптимальные скорости резания. Работа именно на этих скоростях позволяет существенно повысить стойкость протяжек и обеспечить лучшее качество поверхности.

В диссертационной работе Кононова Ю.Е. была получена теоретико-экспериментальная зависимость по расчету темпа износа инструмента при точении в оптимальных условиях

$$h_{\text{оло}} = 3,5 * 10^{-8} * \left(\frac{c\rho * \theta_0}{\sigma_{\text{и}} * (1 + \delta)} \right)^{10} * \left(\frac{\tau_{\text{р}}}{\sigma_{\text{в}}} \right)^7 * \left(\frac{V_0 * a_1}{V'_0 * a'_1} \right)^{78,5 * \left(\frac{\theta_0}{\theta_{\text{и}}} \right)^{6,2}} \left(\frac{\text{МКМ}}{\text{М}} \right)$$

где

δ – относительное удлинение обрабатываемого материала;

$c\rho$ – удельная теплоемкость ;

$\sigma_{\text{в}}$ – предельная прочность обрабатываемого материала;

$\sigma_{\text{и}}$ – предельная прочность инструмента (МПа);

$\tau_{\text{р}}$ – касательные напряжения в условной плоскости сдвига;

θ_0 – оптимальная температура резания;

V_0 – оптимальная скорость резания;

V'_0 – оптимальная скорость резания при подаче $S = \frac{1\text{мм}}{\text{об}}$;

a_1 – толщина среза;

a'_1 – толщина среза при подаче $S = \frac{1\text{мм}}{\text{об}}$.

Сопоставление расчетных значений темпов износа инструментов при токарной обработке жаропрочных сплавов с экспериментальными величинами, представленное в диссертационной работе Шапошникова А.М., показало что данная зависимость может быть использована как при резании всухую, так и при применении СОЖ. Результаты опытных и расчетных значений величины $h_{\text{оло}}$, при точении сплава ЭИ437БУВД резцами из ВК8 при различных подачах, показаны на рис. 2.

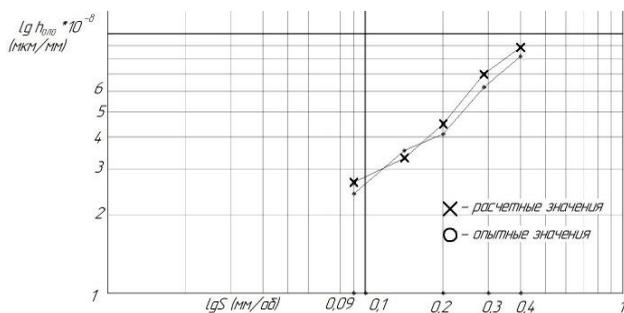


Рис. 2. Сравнение расчетных и экспериментальных значений износа

На основе экспериментальных данных по оптимальным скоростям и темпам износа инструмента при протягивании, была проведена коррекция коэффициентов, входящих в расчетную формулу. В результате расчетная формула для определения темпа износа твердосплавных протяжек получила следующий вид:

$$h_{\text{оло}} = 0,64 * 10^{-6} * \left(\frac{C\rho * \theta_0}{\sigma_{\text{и}} * (1 + \delta)} \right)^{10} * \left(\frac{\tau_p}{\sigma_B} \right)^7 * \left(\frac{V_0 * a_1}{V'_0 * a'_1} \right)^{78,5 * \left(\frac{\theta_0}{\theta_{\text{и}}} \right)^{5,3}} \left(\frac{\text{МКМ}}{\text{М}} \right)$$

При обработке жаропрочного сплава ЭИ437 твердосплавной протяжкой из ВК8, входящие величины имеют следующие значения:

$$\theta_{\text{и}} = 1490^{\circ}\text{C}; \delta = 0,18; c\rho = 4,76 * 10^6 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{М}^3 * \text{C}^{\circ}} \right); \sigma_B = 1100 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{и}} = 1415 \text{ МПа}; \tau_p = 869 \text{ МПа}; \theta_0 = 720^{\circ}$$

На рис.3 показаны опытные и расчетные значения темпа износа твердосплавной протяжки при обработке сплава ЭИ437БУВД с разными подачами на зуб.

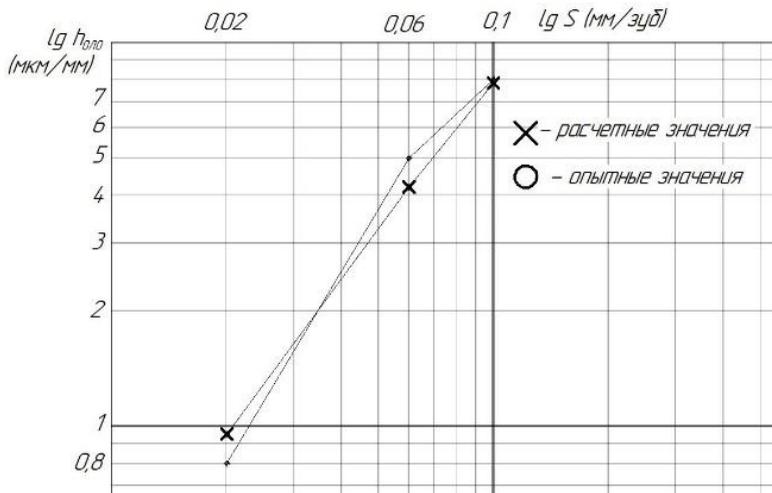


Рис. 3. Расчетные значения износа

Таким образом зависимость позволяет получать расчетным путем величины скоростей изнашивания и оценивать стойкость твердосплавных протяжек при работе на оптимальных скоростях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Макаров А.Д.* Оптимизация процессов резания / А.Д. Макаров. М.: Машиностроение, 1976. 278 с.
2. *Туктамышев В.Р.* Повышение эффективности протягивания деталей ГТД: диссертация; ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет», 2009. 143 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ПРОТОТИПА ЗАВОДСКОЙ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ

И.В. Кучумов, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается специфика разработки в SolidWorks 3D-модели детали и отливки по исходному чертежу. Далее создаются 3D-модели деталей прессформы с учетом требований к точности, выполняется сборка пакета деталей прессформы с учетом рационального размещения выталкивателей. Представлены особенности создания конструкторской документации в КОМПАСе на основе конвертации геометрии моделей системы SolidWorks.

Ключевые слова: CAD, SolidWorks, КОМПАС, цифровой прототип, литейная оснастка, 3D-модель.

FOUNDRY PATTERN EQUIPMENT OF DIGITAL PROTOTYPE DESIGNING SPECIAL FEATURES

I.V. Kuchumov, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The specifics of development by SolidWorks 3D-models of parts and castings according to the original figure is considered. 3D-models of mold parts by accuracy requirements are created. The package of mold parts by the rational placement of ejectors is assembled. The special features of the creation of design documentation in KOMPAS based on the conversion of the geometry of models of the SolidWorks system is provided.

Keywords: CAD, SolidWorks, KOMPAS, digital prototype, casting equipment, 3D-model.

Одним из эффективных методов получения заготовок с наименьшими припусками на обработку является литье под давлением. Проекти-

рование литейной оснастки в современных условиях выполняется в специализированных модулях CAD/CAM-систем путем довольно сложных геометрических построений в модуле CAD и подготовки управляющей программы в модуле CAM на станках с ЧПУ. Ниже рассматривается освоение методики проектирования на основе заводского задания в рамках договора МИП АйТиТехмаш кафедры КИ ТМС с одним из Ярославских предприятий.

Для изготовления заготовки детали необходимо было спроектировать карту эскиза литья, 3D-модель детали и 3D-модель сборки пресс-формы, оформить сборочный чертеж формы, спецификацию и чертежи каждой детали формы.

На основе полученного заводского чертежа в самостоятельно освоённой системе SolidWorks была создана модель отливки, которая представлена на рис. 1. При разработке отливки на поверхностях фланца детали, подразумевающих обработку после литья, добавлены припуски. Для предотвращения усадочных трещин на отливке были выполнены литейные радиусы. Для извлечения отливки из формы, сделаны литейные уклоны: для внутренних поверхностей в сторону увеличения номинальных размеров, а для наружных в сторону уменьшения. Была учтена усадка материала.

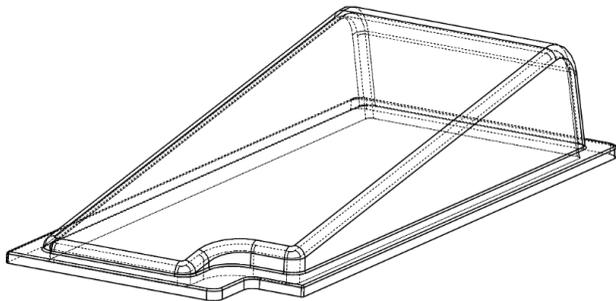


Рис. 1. Модель отливки

Процесс построения моделей в SolidWorks схож с другими CAD системами (NX, Cimatron и др.): сначала выбирается плоскость для построения эскиза, с помощью стандартных команд: отрезок, окружность и т. д. строится необходимый контур, который за счет простановки размеров и ограничений (перпендикулярность, вертикальность, горизонтальность и т. п.) необходимо полностью определить. Далее с помощью различных инструментов твердотельного моделирования из готового контура строится деталь.

Основное внимание при проектировании уделялось размещению полости под отливку на матрицах и выбору количества и положения толкателей. Расположение толкателей определяется конфигурацией детали. Задача конструктора расположить их таким образом, чтобы при раздвижении формы деталь свободно извлекалась, особенно по углам, усилие от толкателей должно быть равномерным на площади отливки. Размеры подвода питания вычислялись, исходя из площади детали.

По указанию заводских специалистов было принято решение проектировать стационарную прессформу, размеры которой нужно было вписать на литейные машины 711A07 и 711A08.

В SolidWorks были разработаны подвижная и неподвижная матрицы, пуансон, обоймы, куда вставляются матрицы, прокладная плита, плита толкателей, плита упоров, плиты крепления и различные втулки, опоры, толкатели и т. п. Детали, непосредственно соприкасающиеся с расплавленным металлом, такие как матрицы, пятка, литниковая втулка, пуансон изготавливаются из штамповой стали 4X5МФС. Остальные плиты – из конструкционной легированной стали 40X. Для небольших деталей типа опор, стоек назначена сталь У8А. На рис. 2 показаны созданные 3D-модели деталей пресс-формы.

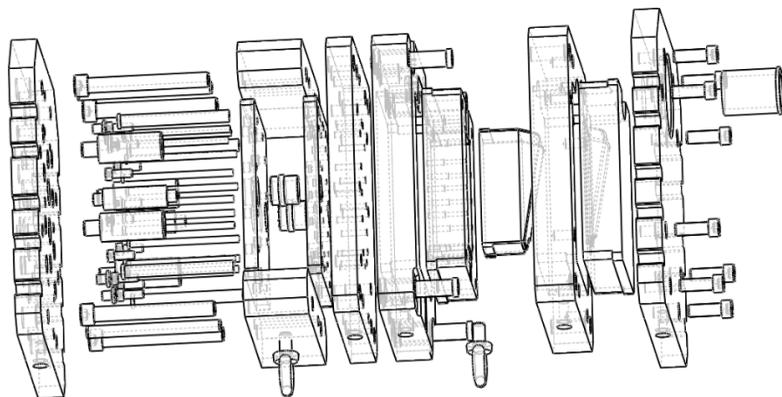


Рис. 2. Детали пресс-формы в разведенном состоянии

Для сборки литейной формы использовался инструмент “Условия сопряжения” и с помощью стандартных условий (совпадение, параллельность, концентричность) определялось положение деталей относительно друг друга. Выбирались стандартные крепежные элементы из библиотеки Toolbox. В итоге модель сборки содержит около 80 деталей различной сложности, которые связаны между собой сотнями сопряжений. Для

наглядности на рис. 3 подвижная и неподвижная половины форм показаны отдельно.

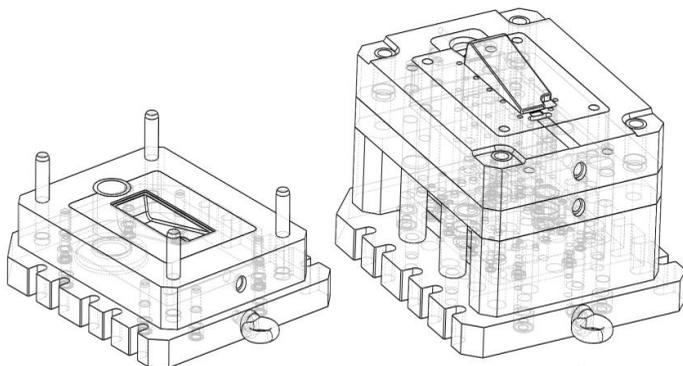


Рис. 3. 3D-сборка пресс-формы

Конструкторская документация на прессформу выполнялась в среде КОМПАС 3D. Модель из SolidWorks сохранялась в формат, поддерживаемый КОМПАС, где с помощью команды “Вид с модели” виды переносились на чертежи, при этом активно использовался инструмент “Разрез”. Эти функции значительно упрощают построение чертежа по 3D-модели. Для всех размеров были назначены необходимые допуски и посадки. Шероховатость, для формирующих отливку поверхностей составляет $Ra0,8$ и $Ra 3,2$ для остальных поверхностей.

Таким образом, при выполнении проекта были изучены основные принципы проектирования цифровых прототипов отливок и форм для их литья, а также особенности процесса создания 3D-моделей всей необходимой литейной оснастки в освоённой среде CAD SolidWorks с последующим оформлением конструкторской документации в CADКОМПАС 3D.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Галдин Н.М.* Цветное литье: Справочник / Н.М. Галдин [и др.]. М.: Машиностроение, 1989. 528 с.
2. *Дударева, Н.Ю.* Самоучитель SolidWorks 2010 / Н.Ю. Дударева, С.А. Загайко. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 416 с.
3. *Большаков В.П.* Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D: Практикум / В.П. Большаков. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 496 с.
4. *Rees Herbert.* Understanding injection mold design / Herbert Rees. Munich: Cincinnati: Hanser Gardner, 2001. P. 125.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В CREOPARAMETRIC 5.0 РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

Н.К. Лебедева, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается специфика разработки в CreoParametric 3D- деталей и сборок. Создание шпоночного паза показано двумя способами: контур на вспомогательной плоскости и выдавливание, вычитание тела шпонки из вала. Изучены особенности изменения деталей в сборке в зависимости от определяющего размера.

Ключевые слова: *CreoParametric, 3D-модель, параметризация*

DIFFERENT WAYS OF PARAMETRIC OBJECTS BY CREOPARAMETRIC 5.0 DESIGN FEATURES

N.K. Lebedeva, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The specificity of development in Creo Parametric 3D - parts and assemblies is considered. Creating a keyway is shown in two ways: the contour on the auxiliary plane and extrusion, subtraction of the body of the key from the shaft. Features of change of details in assembly depending on the defining size are studied.

Keywords: *Creo Parametric, 3D-model, parametrization.*

Процесс построения выполняется двумя вариантами: первый – «Плоскость и выдавливание в тело вала».

Для построения эскиза шпоночного паза создается вспомогательная плоскость, касающаяся поверхности вала, и с помощью инструмента «Вытягивание» получаем шпоночный паз (рис. 1).

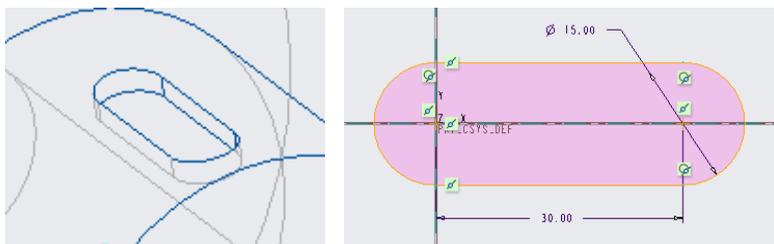


Рис. 1. Эскиз контура шпонки перед выдавливанием

Второй вариант построения – «Перенос заранее созданной шпонки в требуемое положение относительно вала и вычитание».

3D-модель шпонки перемещаем внутрь вала при помощи Гизмо (рис. 2). Далее, с помощью команды «Вычитание», вычитаем тело шпонки из тела вала (рис. 3).

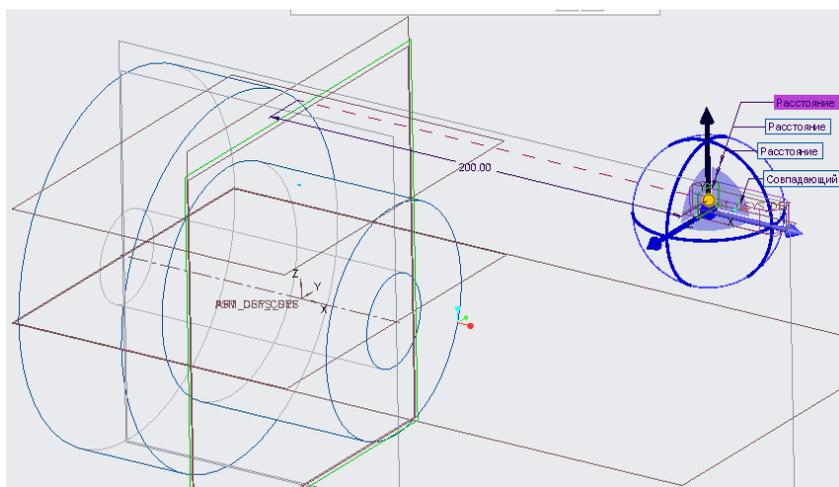


Рис. 2. Перемещение шпонки при помощи Гизмо

Первый вариант построения шпоночного паза очевиден и состоит всего из нескольких команд. Второй вариант немного сложнее первого, так как для эффективного построения следует освоить функций Гизмо с дополнительными привязками.

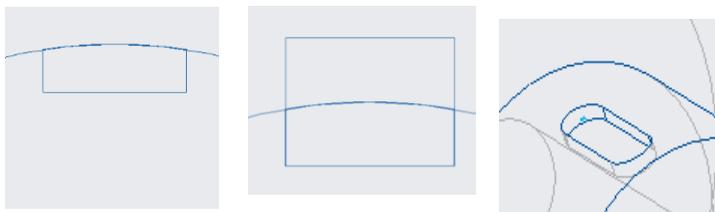


Рис. 3. Эскизы вычитания шпонки

Рассмотрим параметризацию при сборке: изменение формы и расположения в зависимости отклонения определяющего размера .

С помощью привязок создаем зависимость размеров шпонки от ширины и радиуса шпоночного паза (рис. 4). Теперь при изменении одного из размеров будут меняться размеры шпонки и шпоночного паза (рис. 5) и, соответственно, сама модель.



Рис. 4. Зависимость размеров шпоночного паза и шпонки

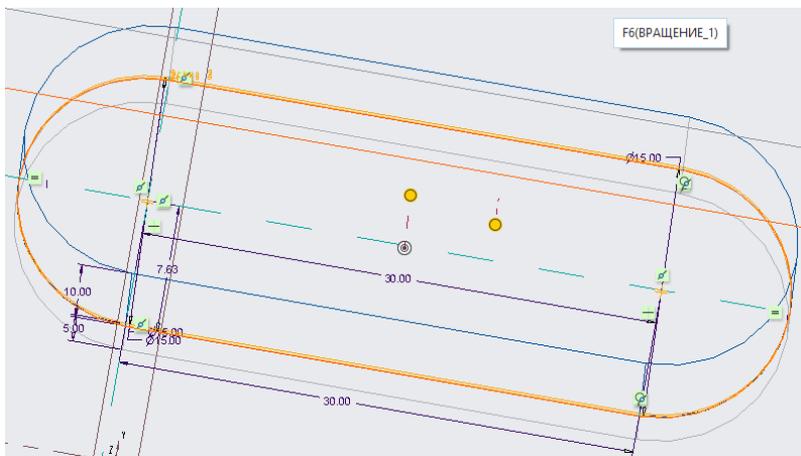


Рис. 5. Сборка шпонки и шпоночного паза

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программное обеспечение 3D CAD | Creo | PTC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ptc.com/ru/products/cad/creo>
2. Методические указания CreoParametric. Краткий справочник [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.solver.ru/fails>

РАЗРАБОТКА МФУ ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA2560

Н.В. Лыков, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается конструкция многофункционального устройства модульного типа, совмещающая функции 3D печати и механической обработки. Проведенное исследование позволяет утверждать, что для образовательных целей и университетских лабораторий возможно изготовление 3D принтера силами студентов дипломного проектирования. Решением данной задачи является выбор в качестве базовой модели Ultimaker с дальнейшим ее техническим и программным усовершенствованием.

Ключевые слова: 3D принтер, 3D печать, Arduino Mega, ATMEGA2560.

DEVELOPMENT OF MULTIFUNCTION PRINTER FOR PROTOTYPING BASED ON THE ATMEGA 2560 MICROCONTROLLER

N.V. Lykov, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The design of a multi-functional device of modular type, combining the functions of 3D printing and machining is considered. The study suggests that for educational purposes it is possible to manufacture a 3D printer by students' help in the University laboratories to solve this problem is to choose Ultimaker as the basic model with its further technical and program improvement.

Keywords: 3D printer, 3D printing, Arduino Mega, ATMEGA2560.

Широкое поле применения трехмерной печати диктует необходимость знакомства студентов – будущих специалистов в области информатики, вычислительной техники и компьютерных технологий со спецификой и возможностями данной технологии. Предметом данного исследования явилось создание недорогого 3D принтера для студенческой лаборатории быстрого прототипирования.

В рамках данного исследования были проанализированы литературные и интернет-источники [1-5].

Выбранная к реализации модель относится к типу RepRap – представляет собой 3D-принтер, способный создавать объемные изделия на основе моделей, сгенерированных компьютером. Одной из целей проекта является «самокопирование», определяемое авторами как способность аппарата воспроизводить компоненты, необходимые для создания другой версии себя. Это устройство с «открытым кодом» – можно воспроизводить, или вносить свои изменения. За основу разработки была выбрана модель Ultimaker. Основной материал, который используется принтером для печати – PLA, ABS пластик, метод печати – экструзия.

Главной особенностью данного устройства является его многофункциональность, благодаря модульной конструкции, позволяющая в короткие сроки менять рабочие головки по мере их необходимости. Данное МФУ включает в себя 3D-принтер, гравер и графопостроитель.

Корпусную основу принтера составляют стальные шпильки и оси, которые крепятся к закрытому корпусу.

В разрабатываемой модели использованы четыре шаговых двигателя типа NEMA-17.

Печатный стол, на котором происходит послойное формирование модели – это нагреваемая поверхность. Подогрев выполняется для того, чтобы в процессе печати пластик не отслаивался от поверхности стола. В конструируемой модели использована поверхность MK2b DualPower, для контроля температурного режима стола – термистор.

Одну из проблем проектирования 3D принтера составляет выбор управляющей электроники. В нашем проекте выбрана платформа ArduinoMega, т.к. это достаточно надежное устройство, имеет удобную поддержку и имеется большое количество дополнительной периферии, т.е. обладает неограниченной возможностью подключения к себе различных устройств. Для управления двигателями в создаваемой конструкции использован контроллер RAMPS 1.4, который устанавливается на Arduino сверху, а на нем, в свою очередь, закрепляются драйверы двигателей, обслуживающие периферию. В конструкции использованы 4 драйвера.

Главным преимуществом выбранной модели принтера является его кинематика «Cartesian» (рис. 1); отметим следующие плюсы данной системы.

- Стол движется только вдоль одной оси(вертикальной), благодаря этому отсутствует вибрация стола, которая существенно сказывается на качестве печати
- Привод подачи филамента вынесен на неподвижную часть корпуса, благодаря этому снята дополнительная масса, создающая инерцию при печати. В следствии увеличивается скорость и качество печати.
- Кинематика построена полностью на валах. Они выступают одновременно как направляющие, и как шкивы. Благодаря этому данная кинематика обладает жёсткой конструкцией, в следствии чего уменьшается вибрация при печати.

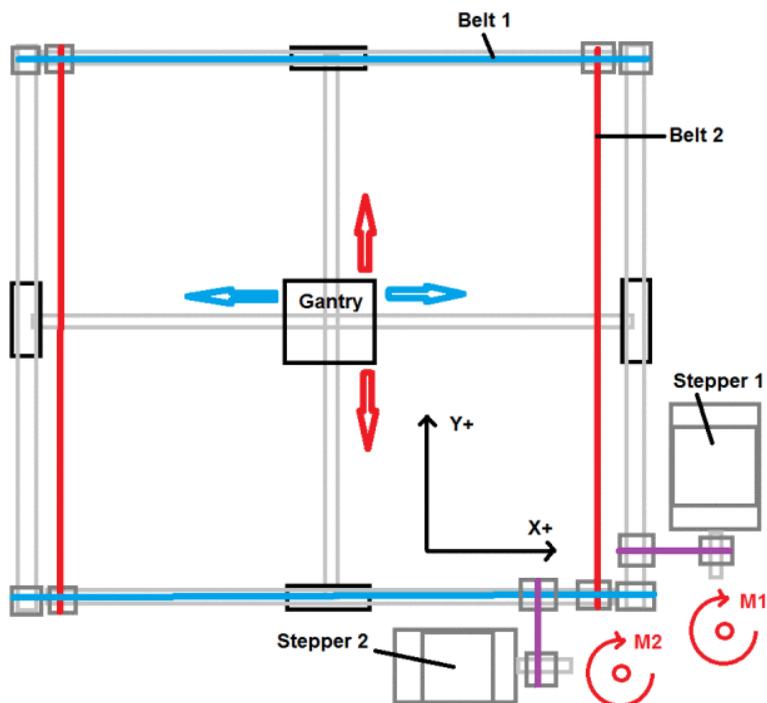


Рис. 1. Схематическое изображение кинематики Cartesian [1]

Для обеспечения работоспособности принтера использовано ПО с открытым кодом:

1. ПО ПК для прошивки Arduino;
2. Sprinter – ПО, которое формирует прошивку (firmware) для Arduino;
3. RepetierHost – программа, используемая для преобразования STL-файлов в G-коды, которые понимает контроллер принтера. Несмотря на большое количество настроек, RepetierHost имеет достаточно простой и понятный интерфейс.

Таким образом, в отличие от существующих аналогов предложена оптимальная конструкция для качественной печати с возможностью установки модульных систем (экструдер, шпиндельный узел, плоттер), что позволяет из 3D принтера сделать многофункциональное устройство для прототипирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 3D печать. Кинематика Ultimaker [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/dagov/3d-printing-for-beginners/>
2. 3D-принтер.[Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/3D>
3. Классификация 3D принтеров (7 технологий 3D печати) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://geektimes.ru/post/159931/>
4. How Does 3D Printing Work [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>
5. Принтер Ultimaker 2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ultimaker.com/download/19607/UserManual-UM2Extended%2B_RU.pdf

**ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ ПРОЕКТА В ЛОЦМАН:PLM
И ИНТЕГРАЦИЯ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНАМ
ОАП И ЦП В МС**

С.И. Новожилов, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Исследуется процесс создания проекта в PDM-системе ЛОЦМАН, где создается база данных разнородных объектов и документов, вводятся сборочные единицы и изделия. В качестве иерархии технической документации рассматривается структура учебного процесса 3 и 4 курсов по кафедре КИ ТМС

Ключевые слова: PDM, ЛОЦМАН:PLM, база данных, конструкторская документация.

**CREATING PROJECT BY LOODSMAN: PLM
AND DOCUMENT INTEROP OF DISCIPLINES
ON THE BASICS OF COMPUTER-AIDED DESIGN
AND DIGITAL PROTOTYPING IN ENGINEERING**

S.I. Novozhilov, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The project creating process in the LOODSMAN PDM system is investigated, where a database of heterogeneous objects and documents is created, assembly units and products are introduced. As a hierarchy of technical documentation, the structure of the educational process of 3 and 4 courses in the department of KI TMS is considered.

Keywords: PDM, LOODSMAN:PLM, database, project documentation.

ЛОЦМАН:PLM – система управления жизненным циклом изделия, которая позволяет управлять данными и процессами, организовывать

коллективную работу специалистов и быстро находить нужную информацию. Использование этой системы оптимизирует рабочие бизнес-процессы и систематизирует движение технической информации между участниками коллективного проекта.

Рассматривается проект, структура которого имитируется составом отчетов по дисциплинам ОАП и ЦПвМС. Для наглядного представления будущего проекта была предложена схемы на рис. 1.

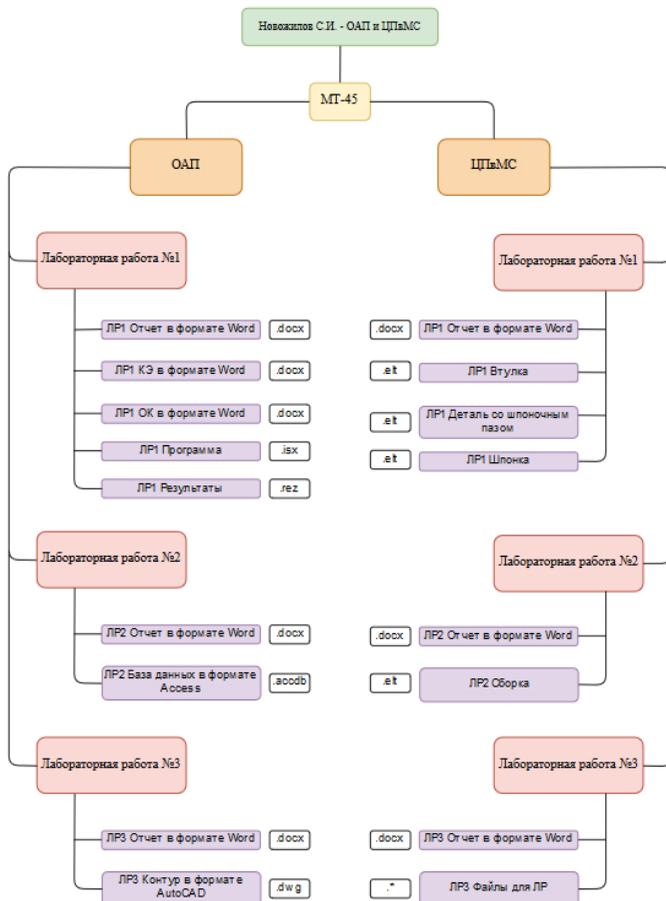


Рис. 1. Структура проекта

Дисциплины ОАП и ЦПВМС имитируют сборочные единицы, в которые входят детали. Детали представляют собой отчеты по лабораторным работам. При добавлении детали необходимо заполнить свойства (карточку) объекта, в которых отражается вся информация о детали: обозначение, наименование, первичная применяемость, разработал, подразделение, предприятие, масса, дата создания, описание и другие, аналогичная содержанию конструкторской спецификации и основной надписи чертежей. Пример карточки представлен на рис. 2.

The screenshot shows a dialog box titled "Свойства объекта" (Object Properties) with the following fields and values:

- Тип: Деталь
- Объект: ЛР1..
- Состояние: Проектирование
- Связь: Состоит из ...
- Атрибуты: ЭСИ
- Вид: Вид
- Обозначение: ЛР1..
- Наименование: ЛабРаб 1
- Первичная применяемость: ОАП
- Разработал: Новожилов
- Подразделение: МТ-45
- Примечание:
- Предприятие: ЯГТУ
- Масса: 0 кг
- Код вида ЭСИ:
- Дата создания: 16.02.2019
- № посл. изменения: 0
- Литера:
- Описание:
- В диапазоне...:
- Величина: 1,0
- Ед. изм.: Не определен
- Buttons: Права доступа..., ОК, Отмена, Справка

Рис. 2. Свойства объекта

В каждой лабораторной работе присутствует отчет и основные файлы, являющиеся результатом выполнения работы. Следовательно, необходимо в каждый объект-деталь (лабораторную работу) добавить, собственно, отчет и основные файлы. На рис. 3 представлено созданное в соответствии со схемой на рис. 1 дерево проекта, а также при выборе лабораторной работы – добавленный файл с отчетом. При выборе данного файла откроется его содержание в программе MicrosoftWord, при этом сам файл находится на сервере ЛОЦМАН.

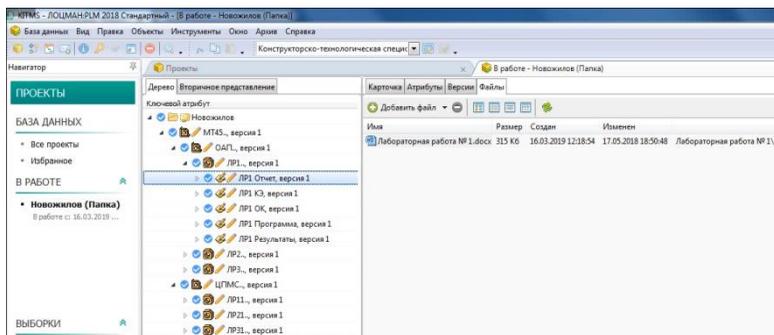


Рис. 3. Дерево проекта

ЛОЦМАН:PLM позволяет взаимодействовать не только с КОМПАС-3D, ВЕРТИКАЛЬ и другими продуктами компании АСКОН, но и с системами других вендоров: SolidWorks и AutoCAD. В инструментарии присутствует вторичное представление, т.е. просмотр технической документации не в основной CAD/CAM-системе, а в программе-вьюере.

Таким образом, при выполнении данной работы были изучены вопросы ведения проекта в ЛОЦМАН:PLM для структурирования документации по дисциплинам ОАП и ЦП в МС, составлена структура документации, а также добавлены файлы отчетов по лабораторным работам, конструкторские и технологические файлы, являющиеся результатом выполнения работ. Предполагается тиражирование настроек, фиксирующих состояния жизненного цикла документов, сделанных на кафедральных ресурсах, в производственные условия во время подготовки ВКР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веб-страница кафедры “Компьютерно-интегрированная технология машиностроения” [Электронный ресурс]. М., 2003-2019. URL: <http://tms.ystu.ru/>. (Дата обращения: 11.03.2019).
2. ЛОЦМАН:PLM [Электронный ресурс]. М., 1989-2019. URL: https://ascon.ru/source/info_materials/2018/LOODSMAN-PLM-2018-booklet.pdf
3. ЛОЦМАН:PLM “Управление жизненным циклом изделия” [Электронный ресурс]. М., 1989-2019. URL: https://ascon.ru/source/info_materials/2018/LOODS

ИССЛЕДОВАНИЕ НАСТРОЕК В ЛОЦМАН:PLM ДЛЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ПРИ РЕШЕНИИ КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

И.С. Пахолков, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается процесс коллективной работы вPDM ЛОЦМАН:PLM, переход разработанного объекта из состояния в состояние с помощью Workflow, а также настройка атрибутов и карточек этих объектов.

***Ключевые слова:** PDM, Workflow, атрибуты.*

RESEARCH OF SETTINGS IN LOTSMAN:PLM COLLABORATION FOR SOLVING DESIGN AND TECHNOLOGICAL PROBLEMS

I.S. Pakholkov, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The collaboration for PDM LOTSMAN: PLM, the transition of the developed object from state to state using Workflow, as well as setting attributes and cards of these object is considered.

***Keywords:** PDM, Workflow, attributes.*

Термин «коллективная работа», в современном мире проектирования, фактически соответствует словосочетанию «параллельная работа». Переход на параллельную работу подразделений предприятия существенно сократит сроки на разработку и внедрение проекта в производство. Для этого необходимо организовать взаимодействие конструкторов с первых этапов проектирования [1].

В ЛОЦМАН:PLM коллективная работа организована таким образом, что в дереве системы создаётся новая «ветка»-объект «изделие», в нём ветки узлов и сборочных единиц (СЕ), которые отправляются по сети конструкторам. Конструкторы, работая параллельно, разрабатывают 3D-модели, чертежи и спецификации. Когда один из конструкторов заканчивает разрабатывать свою часть, он переводит свои объекты из состояния «Проектирование» в состояние «Согласование». После согласования и утверждения, конструкторская документация (КД) отправляется далее по отделам предприятия, а затем и в производство, не дожидаясь пока всё изделие будет полностью разработано.

Для проверки КД в ЛОЦМАН:PLM применяется подсистема управления процессами, а именно типовой бизнес-процесс «Согласование и утверждение КД», который переводит разработанную КД в следующее состояние, согласно утверждённой схеме жизненного цикла (ЖЦ) изделия на предприятии (рис. 1).

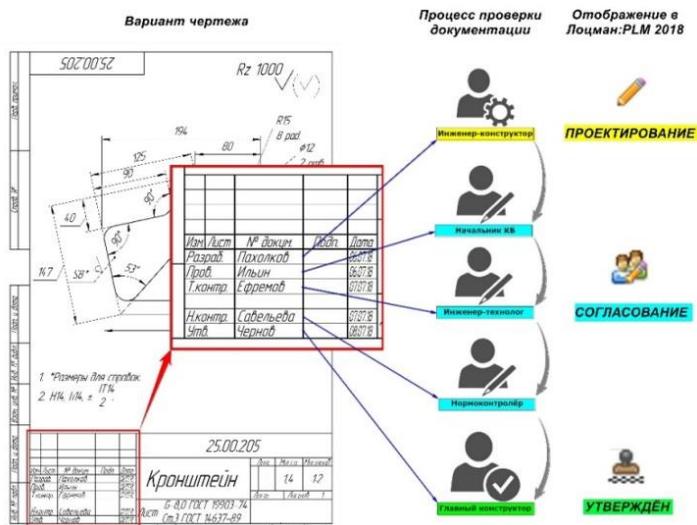


Рис. 1. Типовой бизнес-процесс «Согласование и утверждение КД»

Настройка состояний, а также атрибутов и карточек объектов, производилась в «ЛОЦМАН Конфигуратор».

Состояние – признак, однозначно определяющий стадию жизненного цикла объекта. Чтобы посмотреть в текущей базе данных набор состояний объектов и документов, нужно выбрать в дереве метаданных

узел «Модель данных – Состояния». В области информации откроется список всех состояний, которые есть в базе. Для каждого состояния, выбранного в дереве метаданных, имеются свои сведения, которые отображаются в области информации на разных вкладках. Во вкладках «Типы» и «Документы», виден список типов и документов, которые могут находиться в выбранном состоянии, их можно добавлять и удалять, а также создавать свои состояния объектов (рис. 2) [2].

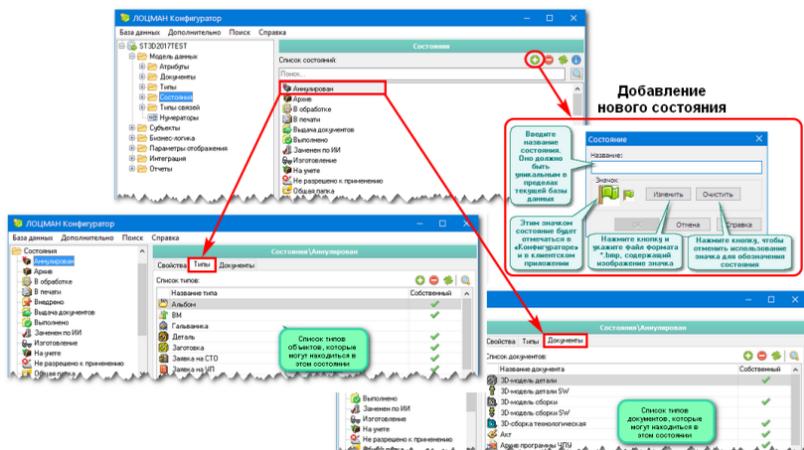


Рис. 2. Настройка состояний объектов

Очень важным аспектом в «ЛОЦМАН:PLM» является описание объектов. Максимально полно описать объект позволяет совокупность атрибутов. Атрибут – именованная характеристика объекта базы данных. Список атрибутов, уже имеющихся в базе данных, можно посмотреть в конфигураторе, выбрав в дереве метаданных узел «Модель данных – Атрибуты». Для создания нового атрибута использовалась команда «Создать» и в открывшемся окне вводились нужные данные. Редактирование атрибутов выполнялось теми же приемами, что и создание, только теперь использовалась команда «свойства» [2].

Так же как и для состояний, каждый атрибут имеет список типов объектов и документов, при описании которых может использоваться определяемый атрибут (рис. 3).

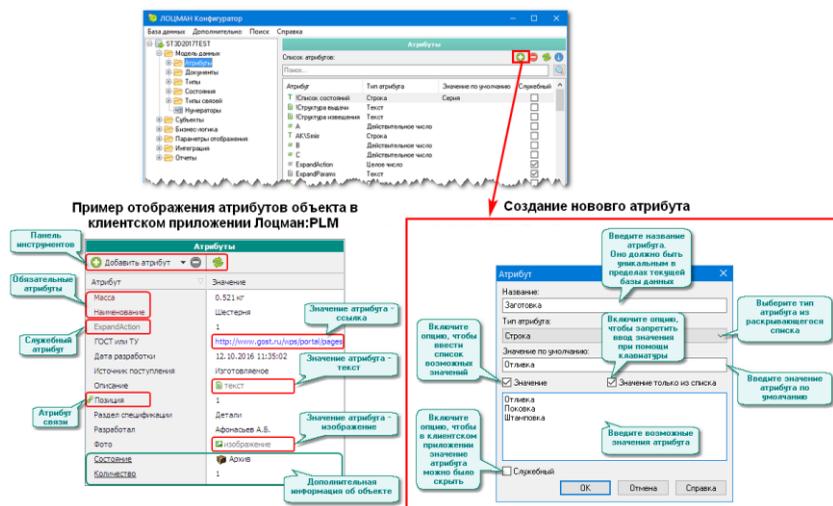


Рис. 3. Настройка атрибутов

Главным источником информации о каких-либо объектах в ЛОЦМАН:PLM являются карточки. Они позволяют показывать на экране свойства объекта наиболее удобным для пользователя образом, дают возможность представлять информацию об объекте под разным углом для различных ролей. Чтобы пользователь мог в клиентском приложении использовать карточку для работы с атрибутами объектов и документов, должны выполняться два условия:

- 1) карточка должна быть сопоставлена типам объектов и документов;
- 2) пользователю дана роль, которая имеет доступ к карточке, сопоставленной определенным типам объектов и документов[2,3].

Итак, в ходе данной работы была исследована коллективная работа предприятия в ЛОЦМАН:PLM с помощью специализированного модуля Workflow, настроены состояния для перехода различных объектов согласно ЖЦ, утверждённого на предприятии, а также средства, для получения наиболее полной информации о разработанном объекте – атрибуты и карточки. Результаты работы потребуются для выполнения ВКР и дальнейшего развития исследования системы ЛОЦМАН:PLM, а также внедрения её на предприятии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аскон «ЛОЦМН:PLM» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ascon.ru/products/889/review/>
2. САПР и графика № 9 – 2004 «ЛОЦМАН:PLM: курс – в будущее руководителям, ИТ-специалистам, инженерам» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/14948>
3. *Калачев О.Н.* Адаптация PDM-системы ЛОЦМАН:PLM к условиям машиностроительного предприятия / О.Н. Калачев, М.А. Чистов // Труды Восьмого международного симпозиума "Интеллектуальные системы" (INTELS'2008). М.: РУСАКИ, 2008. С. 607-610.
4. *Калачев О.Н.* Создание компьютерно-интегрированного комплекса для отслеживания учебной деятельности студента на основе PDM-системы ЛОЦМАН:PLM Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции "Новые материалы и технологии" НМТ-2008. М.: МАТИ, 2008. С. 172-173.

УДК 517.925

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ В SOLIDWORKS

А.И. Родоманов, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается специфика разработки в SolidWorks 3D-модели детали и отливки по исходному заводскому чертежу. Далее создаются 3D-модели деталей пресс-формы с учетом требований к точности выполняется сборка пакета деталей пресс-формы. Производится имитация черновой обработки 3D-фрезированием, 3D-модели "Матрица неподвижная" в SolidCAM.

Ключевые слова: CAD, CAM, SolidWorks, SolidCAM, литейная оснастка, 3D-модель

FOUNDRY PATTERN EQUIPMENT FOR SOLIDWORKS DESIGN ENGINEERING

A.I. Rodomanov, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The specifics of development for SolidWorks 3D-models of parts and castings according to the original factory figure are considered. 3D-models of mold parts account to the accuracy requirements are created, the package of mold parts is assembled. Simulated roughing by 3D milling, 3D model "Fixed Matrix" in SolidCAM.

Keywords: CAD, CAM, SolidWorks, SolidCAM, Foundry Accessories, 3D Model.

Литье под давлением является одним из эффективных методов получения заготовок. Это способ изготовления отливок, при котором сплав приобретает форму отливки, быстро заполняя пресс-форму, сплав под высоким давлением от 7 до 700 МПа формируется в нужную форму. Этот способ применяется для сплавов цветных металлов (на основе цинка,

алюминия, меди, магния, сплав олово-свинец) из-за их низкой температуры плавления, а также для некоторых сталей. На основе заводского задания в рамках договора МИП АйТиТехмаш кафедры КИ ТМС с одним из Ярославских предприятий рассматривается конструкторско-технологическая подготовка производства литейной оснастки в SolidWorks.

SolidWorks — программный комплекс САПР, предназначенный для автоматизации этапов подготовки производства. Основной задачей SolidWorks является работа с 3D моделями. По заводскому чертежу детали приступаем к построению эскиза в SolidWorks. Процесс создания моделей в SolidWorks прост и не сильно отличается от других CAD систем (AutoCAD, КОМПАС-3Ди др.), используемых студентами ЯГТУ. В выбранной плоскости с помощью базовых команд (линия, круг и др.) строим эскиз. Далее начинаем проставлять взаимосвязи и размеры. Для нанесения размеров используем команду "Авторазмер" или "SmartDimension". Когда эскиз готов, с помощью инструмента «вытянутая бобышка» превращаем его в полноценную 3D модель. Для использования этого инструмента достаточно кликнуть на его пентаграмму, выбрать область вытягивания, выбрать длину вытягивания, подтвердить. Далее с помощью различных инструментов твердотельного моделирования (вытянутый вырез, скругление и др.) из готового контура строим модель отливки, представленную на рис. 1.

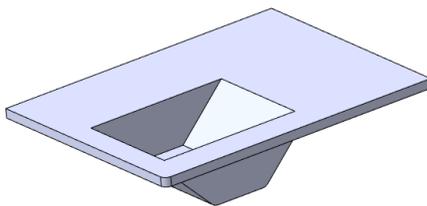


Рис. 1. Модель отливки

По указанию заводских специалистов было принято решение проектировать 3D-модель сборки пресс-формы для изготовления заготовки. А именно, оформить сборочный чертеж формы, спецификацию и чертежи каждой детали формы.

В SolidWorks были разработаны подвижная и неподвижная матрицы, плита толкателей, планки, различные упоры, толкатели, колонки и т.д. Детали, непосредственно соприкасающиеся с расплавленным металлом, изготавливаются из штамповой стали 4Х5МФС. Планки – из кон-

струкционной углеродистой качественной стали 45. Для небольших деталей типа упоров, колонок назначена сталь У8А. На рис. 2 показаны созданные 3D-модели деталей пресс-формы.

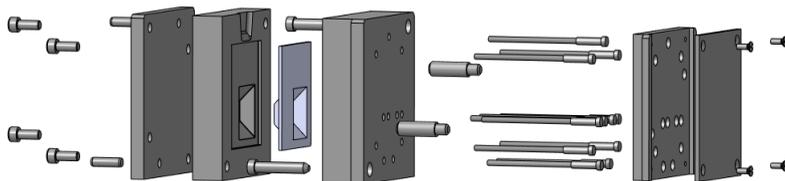


Рис. 2. Детали пресс-формы в разведенном состоянии

Для выполнения конструкторской документации на пресс-форму использовалась программа КОМПАС-3D. Для этого 3D-модель из SolidWorks сохранялась в формат, поддерживаемый КОМПАС-3D, где с помощью команды "Вид с модели" виды переносились на чертежи. Для всех размеров были назначены необходимые допуски и посадки. Шероховатость для формирующих отливку поверхностей составляет 0,8Ra и 3,2Ra для остальных поверхностей.

Детали пресс-формы изготавливаются на 5-ти координатном фрезерном обрабатывающем центре FАM32. Для получения управляющей программы используется SolidCAM.

SolidCAM – инструмент быстрого и легкого создания управляющих программ для токарных, фрезерных и электроэрозионных станков с ЧПУ. Использование SolidCAM как интегрированного приложения к программным продуктам, входящим в состав Autodesk Inventor Series/Professional, обеспечивает возможность создания полнофункциональной CAD/CAM-системы. Выбранную 3D-модель "Матрица неподвижная" открываем в Inventor. Переходим во вкладку "CAM" для создания симуляции обработки детали. Выбрав 3D-фрезерование нажимаем "Выборка кармана" традиционный метод черновой обработки для эффективного удаления большого количества материала. Программа предлагает нам выбрать основные настройки обработки (инструмент, геометрию, проходы и др.). Инструмент можно как загрузить из библиотеки, так и создать самому, после ввода диаметра фрезы 6 мм программа автоматически подобрала остальные параметры инструмента. В выборе геометрии вводились такие параметры, как: отвод инструмента, максимальная глубина резания, контур обработки. Количество проходов программа рассчитала самостоятельно, после ввода параметров была рассчитана траек-

тория обработки сложного по форме углубления. Нажав на кнопку "Симуляция" программа запросила указать материал заготовки и отображение инструмента. Для вывода УП (управляющей программы) нажимаем кнопку "постпроцессор" он сохраняется и открывается в редакторе. На рис. 3 изображен фрагмент УП и обработанная поверхность матрицы вместе с траекторией обработки.

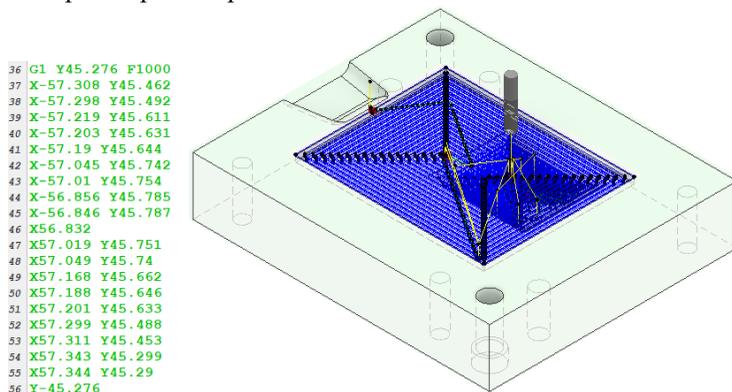


Рис. 3. Фрагмент УП и траектория обработки кармана

Таким образом, при выполнении проекта были изучены основные принципы проектирования литьевой оснастки а также особенности процесса создания 3D-моделей в SolidWorks с последующим оформлением конструкторской документации в КОМПАС-3D. Освоена программа SolidCAM, позволяющая вывести УП по созданной 3D-модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галдин Н.М. Цветное литье: Справочник / Н.М. Галдин [и др.]. М.: Машиностроение, 1989. 528 с.
2. Дударева Н.Ю. Самоучитель SolidWorks 2010 / Н.Ю. Дударева, С.А. Загайко-СПБ.: БХВ-Петербург, 2011. 416 с.
3. Большаков В.П. Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D. Практикум / В.П. Большаков. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 416 с.

УДК 621.43

КОГЕНЕРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА С ДИЗЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОАГРЕГАТОМ

А.Р. Белов, А.В. Жаров

Научный руководитель – **А.В. Жаров**, канд. техн. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Представлена схема энергокомплекса, состоящего из двух дизельных когенерационных установок суммарной электрической мощностью 630 кВт, предназначенного для энергоснабжения вахтовых поселков на Крайнем Севере.

Ключевые слова: когенерационная установка, утилизация тепла дизельного двигателя, энергокомплекс.

COGENERATION PLANT WITH DIESEL GENERATOR UNIT

A.R. Belov, A.V. Zharov

Scientific Supervisor – **A.V. Zharov**, Candidate of Technical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The scheme of the power complex which consists of two diesel cogeneration units with a total electrical capacity of 630 kW intended for power supply of shift camps in the Far North is presented.

Keywords: cogeneration plant, heat utilization of diesel engine, energy complex.

Активное освоение месторождений полезных ископаемых регионов Крайнего Севера требует наличия вахтовых поселков для проживания специалистов, обслуживающих сложное оборудование. При этом необходимо решить проблемы связанные со снабжением этого оборудования и жилых домов достаточным количеством электроэнергии. Это связано с тем, что они, как правило, расположены за тысячи километров от линий электропередач, магистральных газопроводов, тепло- или гид-

роэлектростанций. Обычно вахтовые поселки снабжают дизельными электростанциями. Для их работы завозят дизельное топливо в больших объемах, которое также используется для отопления рабочих и жилых помещений дизельными тепловыми котлами. При этом возникает проблема нерационального использования дизельного топлива.

Вышеупомянутые проблемы предлагается решить с помощью дизельных когенерационных установок (КГУ). Последние представляют собой оборудование, предназначенное для одновременного выработки тепловой и электрической энергии. В его состав входят следующие агрегаты: дизельный двигатель, синхронный электрогенератор, теплообменное оборудование для утилизации тепла отработавших газов (ОГ) и охлаждающей жидкости (ОЖ) дизеля, системы автоматического и/или автоматизированного управления и др. Применение данных устройств также повышает коэффициент использования топлива (КИТ), что является очень важным при завозе топлива в такие регионы. В работе предлагается применить энергокомплекс суммарной электрической мощностью 630 кВт, представляющий собой две дизельные КГУ, работающие «в параллель». В состав энергокомплекса входят два дизельных двигателя ЯМЗ 8503, два синхронных генератора Linz Electric Pro 28L G/4, пластинчатые теплообменники-утилизаторы ОЖ типа «жидкость-жидкость», пластинчатые теплообменники-утилизаторы ОГ типа «газ-жидкость», системы управления электроагрегатами и утилизацией тепла дизелей на базе цифровых контроллеров, а также прочее вспомогательное оборудование. Вышеперечисленные устройства размещаются в модульных блоках, выполненных на базе морских 20-футовых контейнеров.

Утилизация тепла ОГ дизеля приводит к проблеме, связанной с отложением сажевых частиц, входящих в состав ОГ, на теплопередающих поверхностях теплообменного оборудования, что в свою очередь снижает эффективность теплообменника. Предлагается решить эту проблему за счет использования в качестве теплообменника-утилизатора тепла ОГ пластинчатый теплообменный аппарат типа «газ-жидкость». Данный теплообменник способен к самоочищению от частиц сажи в процессе работы благодаря геометрии канала, находящегося между пластинами, для течения ОГ [1]. В случае значительного снижения эффективности теплообменника-утилизатора ОГ из-за образования слоя сажи на теплопередающих поверхностях, в предлагаемой дизельной КГУ предусмотрена возможность съема тепла только с ОЖ за счет перенаправления потока теплоносителя в обход теплообменника-утилизатора ОГ (см. рис. 1).

КИТ можно повысить при интенсификации теплообмена в системе утилизации тепла за счет использования специальных охлаждающих жидкостей, которые представляют собой водный раствор этиленгликоля

с наночастицами мультиграфена [2]. Данный теплоноситель обладает увеличенным коэффициентом теплопроводности, величина которого зависит его температуры и концентрации наночастиц мультиграфена в нем.

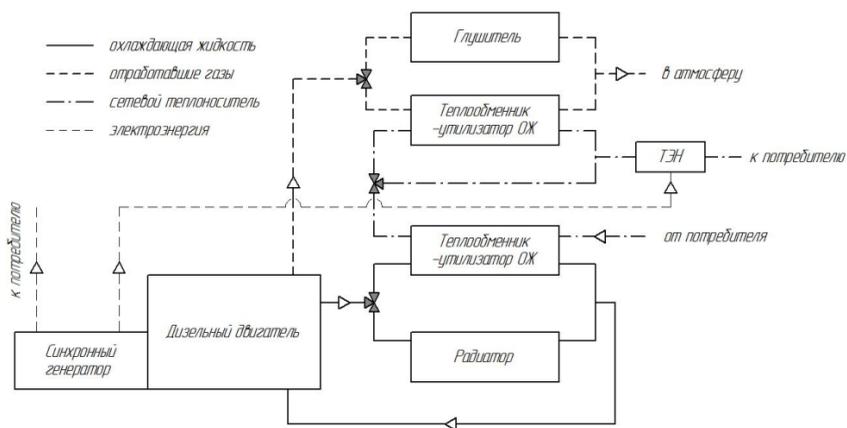


Рис. 1. Схема утилизации тепла дизеля

Предлагаемый энергокомплекс, состоящий из двух дизельных КГУ имеет следующие режимы работы:

а) «дневной режим» – максимальная потребность в тепловой и электрической энергии, обе КГУ загружены на 75 % от номинальной мощности (рекомендуемая загрузка установок при использовании последних в качестве основных источников электроэнергии);

б) «ночной режим» – минимальная потребность в электрической энергии, максимальная потребность в тепловой, обе КГУ загружены на 50 – 65 %, при чем электрическую нагрузку обеспечивает система трубчатых электронагревателей, установленная после теплообменников-утилизаторов и обеспечивающая дополнительный подогрев сетевого теплоносителя;

в) «режим технического обслуживания» – одна из КГУ обеспечивает тепло- и электроснабжение поселка частично, пока вторая находится на плановом техническом обслуживании или ремонте.

К недостаткам таково типа автономных источников тепло- и электроснабжения относятся увеличение количества обслуживаемых единиц техники из-за наличия второго модульного блок-бокса, более сложные алгоритмы работы систем управления КГУ, а также их настройка и синхронизация.

К преимуществам можно отнести их мобильность, возможность поочередного технического обслуживания без полного прекращения энергоснабжения, увеличение ресурса КГУ и уменьшение затрат на генерацию электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пластинчатый теплообменный аппарат для утилизации отработанных газов дизельного двигателя / В.С. Фавстов, В.А. Мухачев, А.А. Павлов, А.В. Жаров // *Материалы III Всероссийской научно-практической конференции «История и перспективы развития транспорта на севере России»*. 2014. С. 121–124.
2. Теплоноситель с наночастицами мультиграфена для интенсификации процессов теплообмена в системах охлаждения двигателей внутреннего сгорания / А.В. Жаров, Р.В. Горшков, Н.Г. Савинский // *Труды НАМИ*. 2018. № 4 (275). С. 48–56.

РАСЧЕТ ОПОРЫ ПОСТОЯННОГО УСИЛИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРУБОПРОВОДА

А.А. Александров, А.В. Проворов

Научный руководитель – **А.В. Проворов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Приводится обзор конструкций опор постоянного усилия технологических трубопроводов. Предлагается математическая модель для расчета одного из вариантов конструкций опор.

***Ключевые слова:** опора, технологический трубопровод, постоянное усилие, расчет.*

THE CALCULATION OF PERMANENT CRADLE REINFORCEMENT OF INDUSTRIAL PIPELINE

A.A. Aleksandrov, A.V. Provorov

Scientific Supervisor – **A.V. Provorov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

An overview of the structures of the constant pressure supports of industrial pipelines is given. A mathematical model for the calculation of one of the designs of supports is proposed.

***Keywords:** support, technological pipeline, constant force, calculation.*

Опоры воспринимают статические и динамические нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации технологических трубопроводов. Различают подвижные и неподвижные опоры [1, с. 130]. Подвижные опоры используются для компенсации температурных удлинений трубопровода. Для горизонтальных участков трубопровода используют как опоры скольжения, так и опоры с меньшим коэффициентом трения - кат-

ковые опоры. Для компенсации удлинений вертикальных участков применяют пружинные и рычажно-пружинные опоры различной конструкции. Основная проблема заключается в том, что такие опоры должны воспринимать и компенсировать вес трубы, который является фиксированной величиной. Обычные пружинные опоры при перемещении точки контакта с трубопроводом меняют силу реакции на это перемещение и создают дополнительные нагрузки на конструкцию трубопровода. Поэтому их можно применять только при небольших удлинениях трубы.

Проблема решается применением опор постоянного усилия, которые обеспечивают постоянное поддерживающее усилие на всем диапазоне перемещений зоны опоры трубопровода. В настоящее время применяется несколько конструкций опор постоянного усилия. На рис. 1 представлена схема конструкции опоры, запатентованной и выпускаемой фирмой Lisega [2].

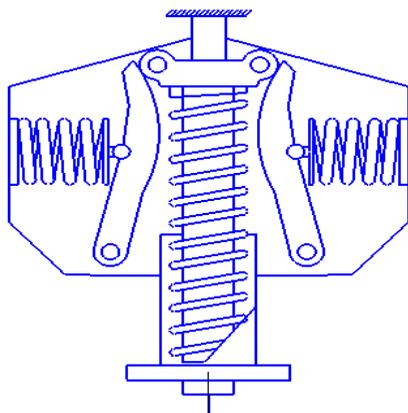


Рис. 1. Опора постоянного усилия фирмы Lisega

Данная конструкция за счет рычагов специально подобранного профиля обеспечивает стабильно постоянное усилие рабочего органа на всей длине его выдвижения. Существует ряд подобных конструкций.

Другая группа пружинно-рычажных опор обеспечивает лишь приблизительно постоянное значение по отношению к фиксированному значению усилия. То есть усилие на рабочем органе в процессе работы опоры может колебаться в некотором заданном диапазоне. В то же время такие опоры имеют более простую конструкцию, а поэтому более высокую надежность и меньшую стоимость. Схема такой конструкции представлена на рис. 2.

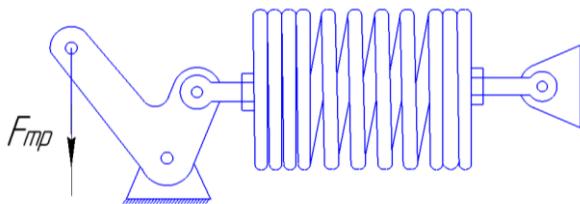


Рис. 2. Пружинно-рычажная опора постоянного усилия

В этой конструкции используется пружинно - рычажный механизм, с помощью которого за счет предварительной регулировки сжатия пружины и выбора оптимальных геометрических характеристик, обеспечивается практически постоянное поддерживающее усилие в фиксированном диапазоне возможных вертикальных перемещений.

В литературе отсутствуют методики расчета таких конструкций. Поэтому была разработана математическая модель и выведены основные уравнения, позволяющие связать усилие на рабочем органе с параметрами механизма и характеристиками пружины. Расчетная схема механизма представлена на рис. 3.

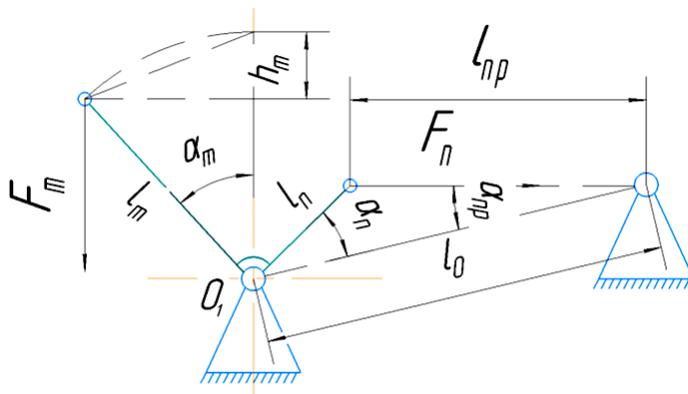


Рис. 3. Схема работы опоры

Сила растяжения пружины F_n создает относительно оси вращения рычага-коромысла момент, который уравнивает момент от веса тросопровода.

Ниже приведены формулы для расчета механизма опоры постоянного усилия.

$$F_T = \frac{l_0}{\sqrt{2l_T h_T - h_T^2}} F_{II} \sin \alpha_{II};$$

$$F_{II} = F_{II0} + k_{II} (l_{II} - l_0 + l_{II});$$

$$l_{II} = \sqrt{l_{II}^2 + l_0^2 - 2l_{II} l_0 \cos \alpha_{II}};$$

$$\cos \alpha_{II} = \frac{(l_T - h_T) \cos \alpha_{II0} - \sqrt{2l_T h_T - h_T^2} \sin \alpha_{II0}}{l_T}.$$

Здесь F_T - вес трубопровода, F_{II} - усилие со стороны пружины, k_{II} - коэффициент жесткости пружины.

По полученным уравнениям был выполнен расчет одного из вариантов опоры и построены зависимости усилия на рабочем органе от его перемещения в вертикальном направлении (рис. 4).

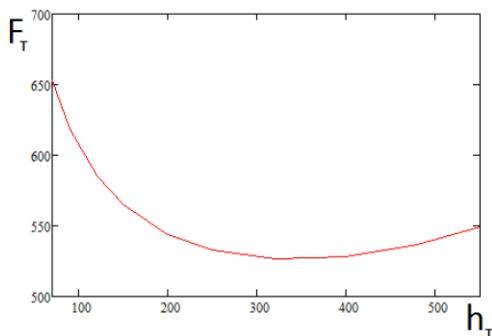


Рис. 4. Зависимость усилия от перемещения

Можно видеть, что на некотором участке обеспечивается приближительное постоянство усилия. Длина этого участка и величина усилия зависят от геометрических параметров механизма и свойств пружины. Именно этот участок следует выбирать в качестве рабочего диапазона перемещений. Используя построенную математическую модель, можно подобрать такие параметры пружины и механизма в целом, которые обеспечат заранее заданные рабочие параметры опоры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Магалиф В.Я.* Монтажное проектирование химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих заводов. М.: ООО "НАВИГАТОР", 2010. 344 с.
2. Опорные конструкции Lisege [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.lisege.de/ru/>. (Дата обращения: 10.03.2019).

УДК 621.9.014.001:631.3

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗАТЕКАНИЯ МАТЕРИАЛА ДЕТАЛИ

А.В. Четверикова, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается возможность автоматизированного проектирования литейных систем в CAD/CAM Cimatron совместно с системой проектирования заливки материала Moldex3D.

Ключевые слова: CAD/CAM, mold, 3D-моделирование, литье под давлением.

THE QUESTION OF DESIGNING OF FOUNDRY PATTERN EQUIPMENT ACCESSORIES BY REFERENCE TO THE SPECIFIC FEATURES OF INFLOWING DETAILS

A.V. Chetverikova, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the possibility of automated design of injection molding systems in Cimatron CAD / CAM together with the Moldex3D material casting design system.

Keywords: CAD/CAM, mold, 3D modeling, injection molding.

Перед проектированием пресс-форм для литья заготовки необходимо предварительно оценить поведение расплава в зависимости от многих факторов, в том числе – правильного расположения детали при заливке и точек впрыска материала расплава. Для этих целей предназначены специализированные пакеты Moldex3D или Cast-Designer.

В данной работе использована тайваньская система MolDEX3D, обеспечивающая предварительное моделирование всего технологического цикла изготовления (залитка, выдержка под давлением, охлаждение, усадка/коробление) как термопластов, так и реактопластов.

Вместе с MolDEX3D – основным программным обеспечением, устанавливаются и вспомогательные пакеты CADdoctor и Designer (все сразу, так как друг без друга работать не могут).

На первом этапе в MolDEX3D создается проект. Затем переходим в пакет Designer – там моделирование делится на 5 следующих этапов.

1) Импорт предварительно созданной модели детали (в переходных форматах .stp или .igs, которые доступны для всех программ моделирования деталей, будь то Cimatron, NX или Inventor). Для исключения искажения геометрии при экспорте используется CADdoctor.

2) Выбор расположения литников и питателей указываются точки расположения литников, их диаметры. Питатели добавляются автоматически, можно отредактировать их высоту и тип.

3) Добавляется схематически или импортируется сборка формопакета. При моделировании он не участвует, но необходим для правильного расположения каналов охлаждения, а также литниковой системы.

4) Генерирование сетки – это необходимая стадия расчета: расчетная область разбивается на дискреты (элементы). В узлах сетки определяются значения искомых переменных (в основном скорость и давление) и накладываются граничные условия.

5) Экспортирование файла из Designer.

Возвращает к меню создания проекта. Здесь выбирается тип литья, материал из библиотеки материалов и запускается анализ. После обработки данных, программа выдает дерево аспектов анализа: распределение материала со временем, температуры залитки, линии возникших спаев и пр.

Для определения наилучшего расположения детали рассматривали два проекта с анализом залитки двумя вариантами расположениями: хвостовым оперением вверх и хвостовым оперением вниз, но с одинаковыми литниковыми системами. В каждом проекте анализировались аспекты: залитки, уплотнение, застывание и коробление.

Установлено, что каждый из аспектов в разной степени влияет на итоговое качество детали после застывания материала, но в большей степени проявляется коробление детали. Коробление полного смещения в расположении хвостовым оперением вниз ниже, чем при расположении вверх (рис. 1). Разброс показателей коробления представлен на шкале слева от детали. Верхние и нижние показатели показывают максимальное и минимальное коробление в миллиметрах. Данный показатель отличается не значительно (около 0,1 мм), так что обратимся к короблению плос-

костности (рис. 2). Здесь максимальное плоскостное коробление для расположения хвостовым оперением вниз на 20 мм ниже, чем у расположения вверх. Наличие такого большого коробления для детали в данный момент нами не изучено.

После завершения анализа в Moldex3D, спроектируем матрицу, пуансон и формопакет для выбранного расположения детали CAD/CAM Cimatron (рис. 3).

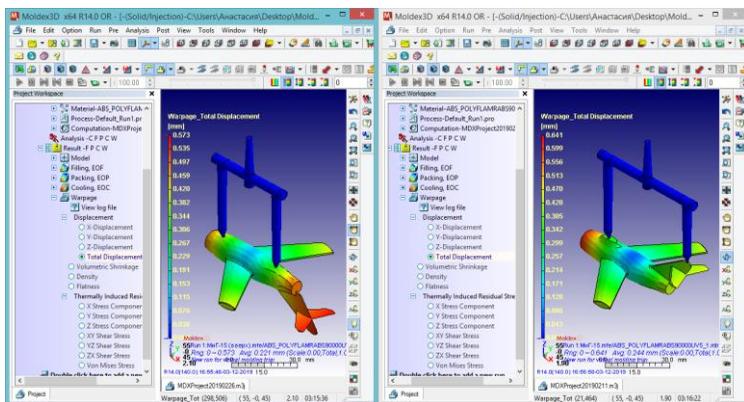


Рис. 1. Коробление полного смещения при двух разных расположениях детали

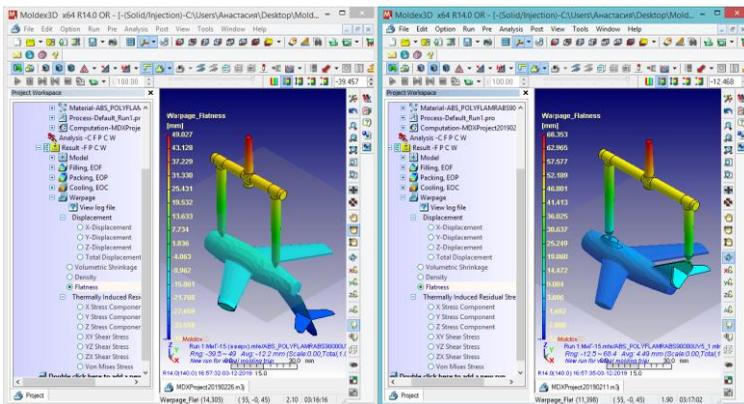


Рис. 2. Коробление плоскостности при двух разных расположениях детали

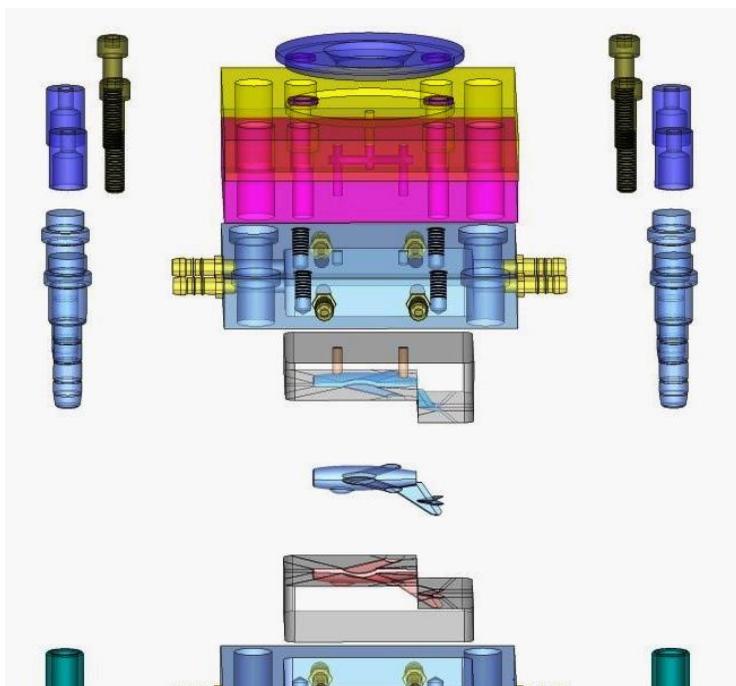


Рис. 3. Формопакет для выбранного расположения

Таким образом, проведя сравнение в Moldex3D двух разных расположений детали в матрице пресс формы, приходим к выводу, что расположение хвостовым оперением вниз будет более технологичным и поможет избежать повышения процента брака при литье заготовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барвинский И.А. Инженерные расчеты литья термопластов под давлением: версия Moldex3D R14 // CADMaster. 2016. № 2. С. 89-93.
2. Барвинский И.А. 3D-расчеты литьевых форм для литья термопластов под давлением // Семинар «Современные технологии производства и эксплуатации пресс-форм». Международная выставка РОСМОЛД'2015. Москва. 24 июня 2015 г. С. 1–12.

УДК 621.9.014

**К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ
РЕСУРСОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ
НА КАФЕДРЕ КИ ТМС**

А.В. Смирнова, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрен обзор электронных средств, используемых в процессе обучения на кафедре КИ ТМС. Дана краткая характеристика использования таких средств в учебном процессе, как TeamViewer, Wi-Fi, Skype, электронная почта и социальные сети, предоставляя достоинства их использования.

Ключевые слова: электронные средства, цифровизация, образование, обучение, социальные сети, online-обучение, дистанционное обучение.

**THE QUESTION OF DIGITAL RESOURCES USE
IN THE EDUCATIONAL PROCESS AT THE DEPARTMENT
OF CI TMS YSTU**

A.V. Smirnova, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The review of electronic tools used in the educational process at the Department of CI TMS YSTU. A brief description of the use of such tools in the educational process, such as TeamViewer, Wi-Fi, Skype, e-mail and social networks is used.

Keywords: electronic means, digitalization, education, training, social networks, online-learning, distance learning.

В настоящее время в мире происходят значительные изменения, связанные с информационной парадигмой. В XXI веке во всех хозяй-

ственных сферах человеческой деятельности стали превалировать информационные технологии, оказывающие непосредственное влияние и на образовательный сегмент, «оцифровывая» его. Более того, данный концепт поддерживается и на международном уровне. К примеру, Институт UNESCO по информационным технологиям в образовании еще в 2010 году в своем ежегодном сборнике отметили увеличивающуюся роль информационных технологий в образовании, подчеркнув, что цифровизация образования должна коснуться не только развитые страны, но также и развивающиеся [4].

Информационные технологии и электронные средства несут в себе множество плюсов, как, например, возможность массового использования, легкость доступа, дешевизна или небольшая плата, однако самым большим достоинством является то, что использование цифровых технологий в образовательном процессе значительно экономит время, позволяя также привести элемент интерактивности в занятия.

Таким образом, практическое применение различных электронных ресурсов весьма актуально в учебном процессе по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

В работе рассмотрены различные виды электронных ресурсов, применяемые для обучения на кафедре КИ ТМС [5] учебного плана магистратуры 15.04.05 направленности «Компьютерно-интегрированное машиностроение» и практическое применение некоторых из них, таких как: Skype, TeamViewer.

Студенты благодаря анализируемому программному решению могут подключаться к компьютеру преподавателя в режиме реального времени. Посредством TeamViewer могут проводиться различные лекции, семинары, контрольные и прочие формы учебных занятий, что позволит обеспечить виртуальное присутствие студентов, если реальное невозможно по разным причинам.

Что бы осуществить подключение к стороннему компьютеру необходимо ввести логин и пароль, который присвоен ПК, к которому подключаемся. После того как данные введены программа TeamViewer подключается к ПК преподавателя и в окне этой программы появляется интерфейс подключённого компьютера (рис. 1).

А для более эффективного учебного процесса в учебном классе «Образовательный центр Autodesk» преподаватель во время лекции пользуется проектором для демонстрации учебных материалов с веб-страницы кафедры [5] при помощи технологии Wi-Fi.

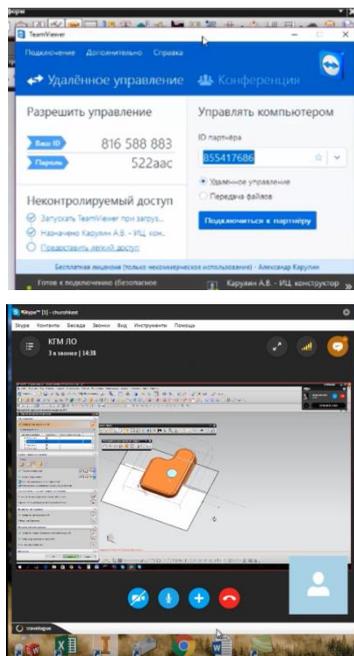


Рис. 1. Подключение удалённого доступа к ПК преподавателя

По-прежнему одним из самых используемых цифровых инструментов является разработка от американской корпорации Microsoft – Skype, имеющая следующие преимущества [3]: возможность совершать групповые звонки (до 25 человек); видеочат; групповые видеозвонки; обмен сообщениями; отправка файлов в чате; видеопочта; демонстрация экрана компьютера; отправка контактных данных; групповая демонстрация экрана; бесплатные звонки между абонентами Skype по всему миру.

Таким образом, данный электронный ресурс может быть очень полезным в контексте учебного процесса, особенно на кафедре КИ ТМС, так как работающие магистранты очной формы не всегда успевают приходить на учебный процесс вовремя, а с помощью данного решения они могут обучаться, находясь дома. Преподаватель может демонстрировать свой «рабочий» стол студентам, работая в той или иной CAD/CAM программе.

Например, на рис. 2-4 представлено практическое занятие по курсу «Компьютерно-графическое моделирование литьевой оснастки» в программе NX [2].

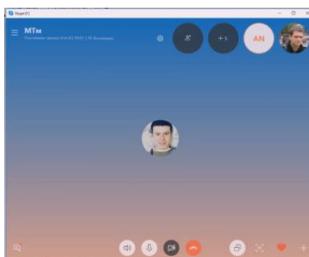


Рис. 2. Процесс установления связи по Skype между преподавателем и обучаемой группой для проведения практического занятия

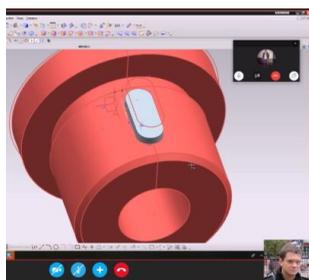


Рис. 3. Методика работы в программе NX с объяснениями преподавателя

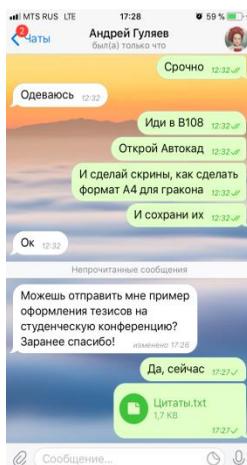


Рис. 4. Связь участников группового звонка с преподавателем при помощи чата

Несмотря на рост внедрения и использования различного спектра электронных ресурсов, электронная почта по-прежнему является одной из самых используемых технологий в учебном процессе. Студенты присылают свои задания именно через электронную почту для проверки преподавателем, что полезно, так как увеличивается скорость просмотра и ответа, а также снижается нагрузка на экологию, так как уменьшается распечатка на бумаге. Более того, отметим, с каждым годом число отправки электронных писем всё увеличивается, так как еще в 2015 году ежедневно отсылались 205 млрд. писем, а в марте 2018 года, это число достигло показателя более, чем 281 млрд. писем каждый день, что доказывает популярность этого средства связи – специалисты прогнозируют 333 млрд. писем, отсылаемых ежедневно, к 2022 году [1].

Развитие образовательного пространства в последнее время добавило еще одно электронное средство, которым пользуются как преподаватели, так и студенты – социальные сети.

Современные студенты используют такие соцсети, как Telegram, VK, FaceTime и WhatsApp, причем с помощью их можно как присылать документы, так и совершать голосовые и видеозвонки, что может пригодиться в разных ситуациях. В соцсетях диалог обычно происходит намного быстрее из-за времени, проведенного с девайсами – как студенты могут ответить быстрее. К примеру, Telegram, VK и WhatsApp позволяют создавать групповые чаты, куда может скидываться необходимых учебный материал, что для студентов, в особенности с дистанционной формой обучения, будет крайне полезно. Записанный урок с преподавателем экспортируется на iOS-устройство при помощи ПО iTunes, с дальнейшей загрузкой в облачное хранилище – iCloud. Это позволяет осуществлять доступ к видеоматериалу с разных устройств многим студентам.

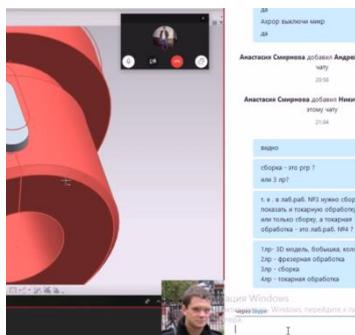


Рис. 5. Общение и обмен файлами студентов при помощи мессенджера Telegram

Таким образом, были рассмотрены средства и примеры дистанционного и online-обучения, применяемый на кафедре КИ ТМС, что позволяет более тщательно и детально в домашних условиях изучить предметы учебной программы магистратуры 15.04.05 направленности «Компьютерно-интегрированное машиностроение».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Number of Emails Sent Per Day [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.lifewire.com/how-many-emails-are-sent-every-day-1171210>.
2. NX [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/>
3. Возможности Skype [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.skype.com/ru/features/>
4. UNESCO Institute for Information Technologies in Education [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iite.unesco.org/pics/publications/en/files/3214664.pdf>
5. Материалы WEB-страницы кафедры «Компьютерно-интегрированная Технология машиностроения» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tms.ystu.ru>

УДК 621.321

ДООХЛАЖДЕНИЕ КОНДЕНСАТА ВЫПАРА В ДЕАЭРАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ

М.В. Хренов, Ю.А. Веткин

Научный руководитель – **Ю.А. Веткин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Приводится описание модернизации деаэрационной установки с помощью градирни.

***Ключевые слова:** деаэрационные установки, деаэраторы, процесс деаэрации, градирня.*

CONDENSATED VENTED STEAM AFTERCOOLING BY DEAERATION PLANT

M.V. Khrenov, Yu.A. Vetkin

Scientific Supervisor – **Yu.A. Vetkin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

A description of the modernization of the deaeration plant using a cooling tower is presented.

***Keywords:** vent installation, deaerators, deaeration process, cooling tower.*

Деаэрация – процесс удаления кислорода из воды. Именно растворенный в воде кислород является основной причиной коррозии трубопроводов. Для удаления кислорода из воды применяются деаэраторы. Конструкции деаэраторов достаточно разнообразны: барботажные, пленочно-струйные, вихревые, струйные, щелевые и др. Процесс деаэрации может вестись при атмосферном давлении, избыточном давлении и вакууме.

В настоящее время в промышленности нашли широкое применение атмосферные деаэраторы (тип ДА). Они отличаются простотой конструкции, надежностью и обеспечивают на выходе воду с остаточным содержанием кислорода до 20 мкг/кг. Существует типоразмерный ряд данных конструкций установок, рассчитанных на различную производительность.

Данные установки находят применение в системах водоподготовки на ТЭЦ. В последние годы, помимо ТЭЦ, процессы деаэрации воды находят все большее применение в других отраслях промышленности, в частности, в нефтехимической. Однако существует ряд проблем, в частности, не всегда на установке имеется холодная вода для охлаждения выпара. В связи с этим, адаптация типового атмосферного деаэратора под условия технологического процесса является актуальной задачей. Решение данной задачи достигается внесением изменений в конструкцию деаэратора.

Температура отработанной воды на выходе из деаэрационной установки достигает 56 °С. При этом сливается она в канализацию, в которой температура стоков не должна превышать 40 °С. Поэтому, в качестве модернизации, я выбрал установку, которая сможет охладить отработанную до необходимой температуры.

Проанализировав различные варианты охладителей, я остановился на установке градирни. Ее преимущества перед другими охладителями – относительная дешевизна установки, компактность.

Градирня – это контактный теплообменный аппарат для охлаждения воды направленным потоком атмосферного воздуха.

Основной принцип функционирования градирен состоит в испарении определенного количества воды при ее контакте с воздухом (испарительное охлаждение). Чем больше поверхность контакта воды с воздухом, тем более благоприятны условия теплоотдачи. При испарении температура воды снижается.

Из всех существующих типов градирен, классифицируемых по способу подвода воздуха к воде (башенные, атмосферные, эжекционные, вентиляторные) вентиляторные градирни нашли самое широкое применение благодаря своей компактности, более глубокому охлаждению воды, чем у других типов градирен, меньшей зависимости степени охлаждения от параметров наружного воздуха, возможности регулировки охлаждающей способности.

Вентиляторные градирни применяются на промышленных предприятиях с относительно небольшими расходами воды систем оборотного водоснабжения в случаях, когда площадь для размещения охлаждающих установок недостаточна или возникает необходимость более глубокого охлаждения воды.

Вентиляторные градирни также принято классифицировать по расположению вентиляторов и по способу образования поверхности контакта воды и воздуха.

По способу образования поверхности контакта воздуха и воды вентиляторные градирни подразделяются на пленочные, капельные и комбинированные. В пленочных градирнях вода стекает в виде тонкой пленки по специальным пластинам. В капельных градирнях поток воды, подаваясь сверху, разбивается на капли с помощью специальных розеток или полок. Устройство для организации пленок и капель в градирнях называется оросителем. Соответственно, он может быть пленочным, капельным или комбинированным.

Нагретая в технологическом процессе вода по магистральным трубопроводам поступает к градирне. Далее она по подводящей трубе 1 поднимается к водораспределительной системе 2, состоящей из коллектора и распределительных труб, на которых закреплены форсунки. Через форсунки вода распыляется на ороситель 7 и стекает по его поверхности. Через входные окна 9 вентилятор 4 всасывает атмосферный воздух, который поднимается вверх по каналам в оросителе и охлаждает воду, стекающую по поверхности оросителя. Охлажденная вода стекает в бассейн 11, а теплый воздух через диффузор вентилятором выводится в атмосферу со скоростью 5–7 м/с. Поток поднимается до 25 м в высоту, таким образом, исключается рециркуляция (вторичное попадание) теплого влажного воздуха во входные окна градирни. Диффузор предназначен для улучшения аэродинамических характеристик воздушного потока на выходе из градирни и защиты лопастей вентилятора градирни от внешних физических воздействий. Поднимающийся воздух уносит с собой мелкие капли влаги. Для того, чтобы снизить потери оборотной воды, в верхней части градирни устанавливается каплеуловитель 3. В градирне с нагнетательным вентилятором скорость выхода воздуха из градирни 1...2 м/с, поэтому для снижения вероятности рециркуляции такие градирни устанавливаются на крыше зданий.

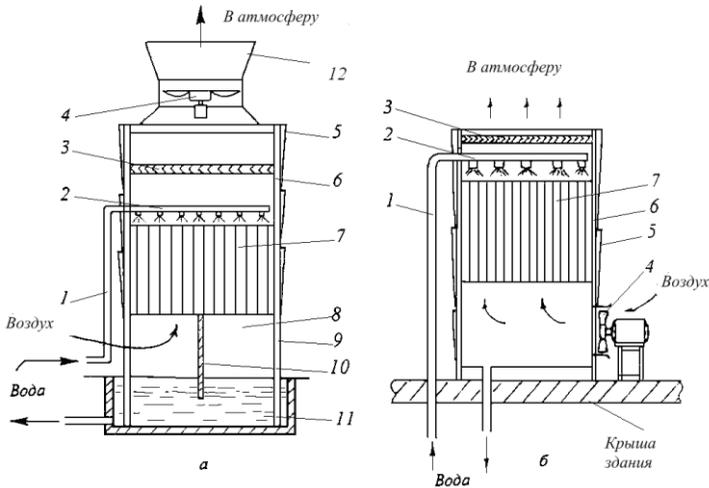


Рис. 1. Схема вентиляторных градирен:

а – градиря с вентилятором, создающим разрежение;

б – градиря с нагнетательным вентилятором

1 – подводящий трубопровод; 2 – водораспределительная система;

3 – каплеуловитель, 4 – вентилятор; 5 – обшивка; 6 – корпус градири;

7 – ороситель; 8 – воздухораспределительное пространство; 9 – воздухоходные окна; 10 – ветровая перегородка; 11 – бассейн; 12 – диффузор

Благодаря внедрению градири в деаэрационную установку типа ДА, последняя становится более предпочтительной на фоне более современных установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 16860-88. Деаэратеры термические. Типы, основные параметры, приемка, методы контроля. М.: Изд-во стандартов, 1989.
- Оликер, И.И. Термическая деаэрация воды в отопительно-производственных котельных и тепловых сетях / И.И. Оликер. Л.: Стройиздат, 1972. 137 с.
- РД 34.40.101. Руководящие указания по проектированию термических деаэрационных установок питательной воды котлов. Изд-во Энергия, 2014.
- Пономаренко В.С. Градири промышленных и энергетических предприятий / В.С. Пономаренко, Ю.И. Арефьев. М.: Энергоатомиздат, 1998. 376 с.
- Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02–84). М.: ВНИИ Водгео, 1989.

диапазон измерения толщины полотна	0,5...5 мм;
погрешность измерений толщины полотна	$\pm 0,02$ мм;
диапазон измерения длины полотна в рулоне	0...1000 м;
погрешность измерения длины полотна	$\pm 0,5$ м;
диапазон измерения скорости полотна	0...60 м/мин;
погрешность измерения скорости полотна	$\pm 0,1$ м/мин.

Предварительный анализ данных, полученных в ходе опытных испытаний системы ПТК ТДС, на производственном оборудовании показал, что в реальных стационарных условиях обрезаживания шинных кордов зачастую наблюдаются значительные отклонения толщины выпускаемых полотен как в пределах установленных допусков ($\pm 0,05$ мм), так и с их превышением. Это является следствием влияния множества технологических параметров на процесс обрезаживания шинного корда.

Экспериментальным исследованиям подвергался опытный образец устройства для измерения толщины движущихся листовых материалов по патенту РФ № 2180132 [1]. Лабораторные исследования проводились на образцах обрезаженных кордов, произведенных в промышленных условиях.

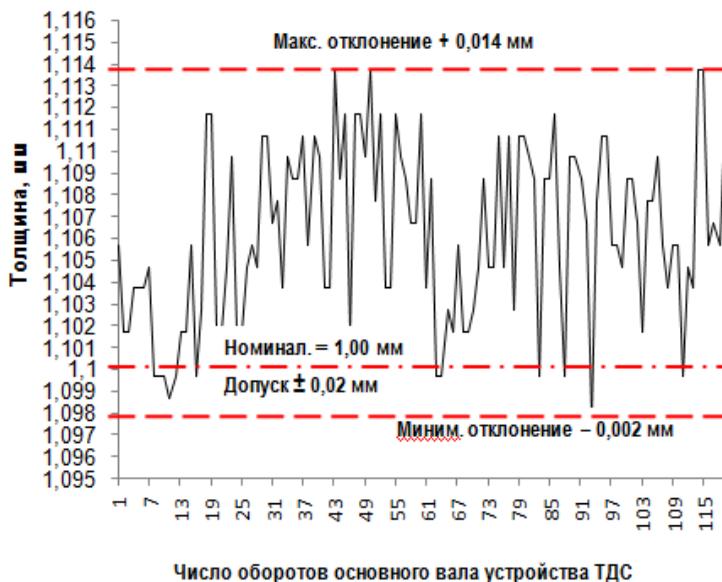


Рис. 1. Измерение толщины образца капронового корда 352КТ в лабораторных условиях

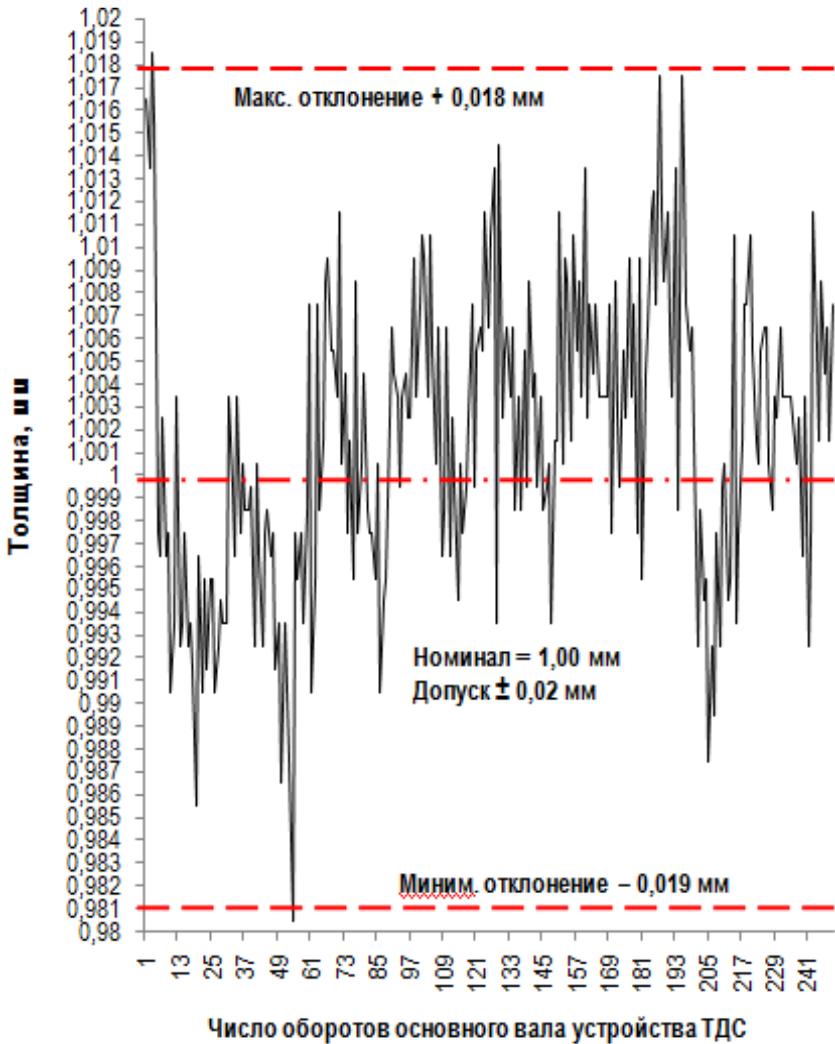


Рис. 2. Измерение толщины образца обрезиненного корда 21КТ

Измерения толщины обрезиненного корда с номинальной толщиной 1,00 мм устройством ТДС, представленные на рис. 2, достаточно хорошо соответствуют измерениям, выполненным ручным толщиномером ТР-10, представленными в табл. 1.

**Таблица 1. Определение погрешности измерения
для номинальной толщины полотна 1,00 мм**

№ измерения	Фактическая толщина полотна, мм	Измеренная толщина полотна, мм	Отклонение толщины полотна, мм
1	1,00	1,013	-0,013
2	0,99	0,978	+0,012
3	1,00	0,981	+0,019
4	1,00	1,018	-0,018
5	1,01	1,07	+0,006

Погрешность измерений толщины полотна составляет $\pm 0,02$ мм.

Оценка результатов измерений толщины движущихся обрезаемых кордных и тканевых полотен, проведенная по критериям сходимости, воспроизводимости и адекватности результатов измерений устройством ТДС дает возможность утверждать, что погрешность измерения данного устройства не превышает $\pm 0,02$ мм.

Положительные результаты от внедрения предлагаемого устройства могут быть получены после проведения комплекса мероприятий по некоторой модернизации измерительных механизмов, а также электронного и программного обеспечения.

Отличительными особенностями разработанного устройства являются: простота изготовления, относительно низкая стоимость и значительная технико-экономическая эффективность его внедрения на действующем производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2180132. Российская Федерация. Устройство для контроля и регулирования толщины движущихся листовых материалов. Оpubл. 27.02.02. Бюл. № 6. 5 с.
2. Исследование работы устройства для измерения толщины, длины и скорости обрезаемого корда в процессе каландрования: Семьдесят первая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 18 апреля 2018 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 2 [Электронный ресурс]. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. 1189 с.

УДК 621.9.06 (075)

МОДИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕТАЛИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ

В.Д. Удальцов, А.М. Шапошников

Научный руководитель – **А.М. Шапошников**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Представлен расчёт машиностроительной детали на прочность и выбор нового сечения для повышения ресурса работы.

Ключевые слова: прочность, сечение, пластмассовая деталь.

MODIFICATION OF THE CONSTRUCTION OF THE MACHINE-BUILDING DETAIL FOR INCREASING STRENGTH

V.D. Udaltsov, A.M. Shaposhnikov

Scientific Supervisor – **A.M. Shaposhnikov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Strength calculation of the engineering detail and choice of a new section for extra resources are presented.

Keywords: strength, cross-section, plastic element.

Расчёт на прочность ведётся по величине фактических максимальных напряжений, возникающих в опасной точке нагруженной конструкции, которые потом сравниваются с допускаемыми напряжениями, при котором материал конструкции может долго работать без разрушения.

Наибольшие нормальные напряжения в опасном сечении не должны превышать допускаемого напряжения. Из этого следует условие прочности

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I_x} y_{max} \leq [\sigma]. \quad (1)$$

Расчётная схема поперечного сечения исходного варианта детали представлена на рис. 1.

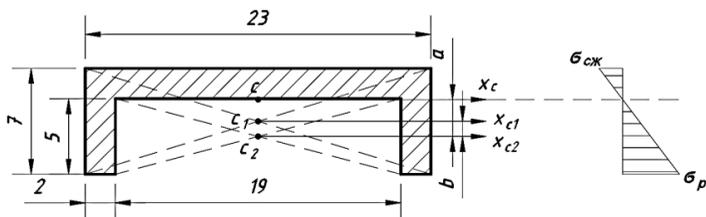


Рис. 1. Расчётная схема поперечного сечения

Рассчитаем моменты инерции относительно центров тяжести C_1 и C_2 для элементов тривиальной формы:

$$I_{xc1} = \frac{23 \cdot 7^3}{12} = 657,42 \text{ мм}^4,$$

$$I_{xc2} = \frac{19 \cdot 5^3}{12} = 197,92 \text{ мм}^4.$$

Найдём момент инерции всего сечения относительно центра тяжести C_2 и выразим через него момент инерции сечения относительно собственного центра тяжести:

$$I'_{xc2} = I_{xc1} + b^2 \cdot A_1 - I_{xc2} = 657,42 + 1^2 \cdot 23 \cdot 7 - 197,92 = 620,5 \text{ мм}^4,$$

$$I_{xc} = I'_{xc2} - a^2 \cdot A_{\Sigma}.$$

Определим статический момент площади, выразим координату a и найдём значение момента инерции сечения:

$$S_x = b \cdot A_1 = 1 \cdot 23 \cdot 7 = 161 \text{ мм}^3,$$

$$a = \frac{S_x}{A_{\Sigma}} = \frac{161}{66} = 2,44 \text{ мм},$$

$$I_{xc} = 620,5 - 2,44^2 \cdot (23 \cdot 7 - 19 \cdot 5) = 227,56 \text{ мм}^4.$$

Так как модифицированная деталь подлежит изготовлению на 3D-принтере, то допускаемые напряжения изгиба принимаем равным допускаемым напряжениям изгиба материала пластика PLA: $[\sigma_{изг}] = 55,3 \text{ МПа}$.

Подставив полученные значения в уравнение (1), можем найти критический момент, при котором происходит разрушение детали:

$$M_{кр} = \frac{I_{xc} \cdot [\sigma]}{y_{max}} = \frac{227,56 \cdot 55,3}{4,94} = 2550 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

$$y_{max} = a + 2,5 = 2,44 + 2,5 = 4,94 \text{ мм}.$$

Составим расчётную схему крепления детали (рис. 2) и вычислим момент в точке разрыва сечения:

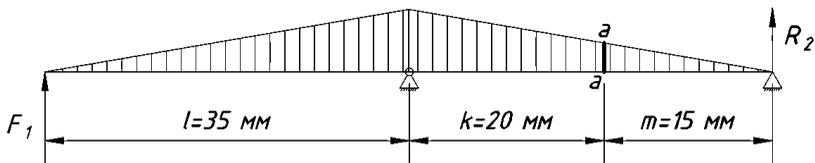


Рис. 2. Расчётная схема крепления

Сила раскрытия F_1 определена эмпирическим путём и составляет 50 Н. Определим момент в сечении а-а, в котором происходит разрушение:

$$M = R_2 \cdot m = 50 \cdot 15 = 750 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Определим напряжения в сечении а-а детали со старым сечением:

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{M \cdot y_{\text{max}}}{I_{xc}} = \frac{750 \cdot 4,94}{227,56} = 16,28 \text{ МПа}.$$

Подберём новое сечение и рассчитаем аналогичным методом напряжения. К исходному сечению добавим пару рёбер жесткости с размером поперечного сечения 5×2 мм (рис. 3).

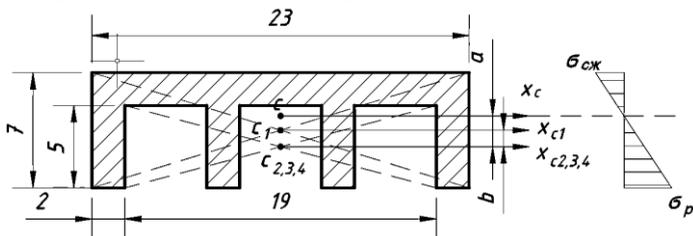


Рис. 3. Расчётная схема модифицированного поперечного сечения

Определим напряжения в сечении детали с новым сечением:

$$\sigma_{\text{нов}} = \frac{750 \cdot 4,37}{358,43} = 9,14 \text{ МПа}.$$

Выразим величину коэффициента запаса прочности K_σ :

$$K_\sigma = \frac{\sigma_{\text{ст}}}{\sigma_{\text{нов}}} = \frac{16,28}{9,14} = 1,78.$$

Таким образом, при модификации поперечного сечения детали, мы получили, что запас по прочности новой детали будет увеличен в 1,78 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольмир А.С. Сопротивление материалов : учебник для вузов / А.С. Вольмир, Ю.П. Григорьев, А.И. Станкевич. М.: Дрофа, 2007. 591 с.

УДК 621.9.06 (075)

РАСЧЁТ ШПИНДЕЛЯ НА ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ

Д.В. Шпилькин

Научный руководитель – **А.М. Шапошников**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается метод расчёта шпиндельных узлов на виброустойчивость, основанный на сопротивлении материалов.

***Ключевые слова:** шпиндельный узел, прогиб, собственная и вынужденная частоты колебаний.*

THE VIBRATION RESISTANCE ANALYSIS OF THE SPINDEL

D.V. Shpilkin

Scientific Supervisor – **A.M. Shaposhnikov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This paper reviews the methods of spindle assembly vibration resistance analysis based on strength of materials.

***Keywords:** spindle assembly, deflection, natural and forced frequency.*

Одно из главных требований, предъявляемых к шпиндельным узлам, – высокие динамические качества (виброустойчивость). Условие вибро-устойчивости заключается в следующем: при любых режимах резания, не должен наступать резонанс, т.е. собственная и вынужденная частоты колебаний шпинделя не должны быть равны. Как правило, собственная частота колебаний больше вынужденной на 20-30%. Собственная частота зависит только от геометрических параметров шпинделя, от его прогибов под действием весов отдельных частей. Вибрации, возникающие в шпиндельном узле, негативно сказываются на точности и чистоте обработки, а также на стойкости инструмента и производительности станка. Для нормальной работы, собственная частота колебаний шпинделя должна быть в диапазоне 500-600Гц.

В качестве исходных данных для решения задачи на виброустойчивость, был выбран шпиндельный узел токарно-револьверного станка 1341и проведён ориентировочный расчет по среднему диаметру. Формула для приближенного расчета:

$$f_{\text{собств}} = \gamma * \sqrt{\frac{E * I_1}{m * (1 + \lambda)^3 * a^2}}$$

где I_1 - осевой момент инерции на консольной части шпинделя;

E – модуль упругости;

$\lambda = \frac{l}{a}$ – относительное расстояние между опорами; $\gamma = f(\lambda)$ – коэффициент, определяется по графику;

m – масса шпиндельного узла.

Приближённый расчёт ведётся для шпинделей не имеющих больших сосредоточенных масс. В результате вычислений, собственная частота колебаний шпинделя оказалась равна 852 Гц. На практике, такие значения частот не встречаются так как, являются слишком большими. Теперь, для того чтобы понять выполняется ли условие виброустойчивости, необходимо рассчитать вынужденную частоту колебаний шпинделя:

$$f_{\text{вын}} = \frac{n * D * z}{2 * (D + d)}$$

где n – частота вращения шпинделя; D – диаметр беговой дорожки внутреннего кольца подшипника; z – число тел качения; d – диаметр тел качения.

В результате расчёта, вынужденная частота колебаний шпинделя оказалась равна 388 Гц, это свидетельствует о том, что условие виброустойчивости выполняется, т.е. $f_c > f_b$, более чем на 50%, при необходимых 20-30%.

Для проверки результатов был проведён уточнённый расчёт, который учитывал веса планшайбы, ступеней и зубчатых колёс. Для осуществления данного расчёта необходимо было определить прогибы под всеми рассматриваемыми весами. В качестве метода для определения прогибов, был выбран метод Верещагина, который, является довольно трудоёмким, но также, он довольно прост и при этом, обеспечивает необходимую точность расчётов.

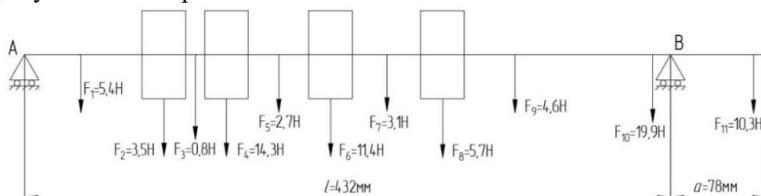


Рис. 1. Расчётная схема шпинделя

Первый шаг при решении задачи на виброустойчивость, это расчёт весов всех составляющих частей шпиндельного узла. Расчёт производился по следующей формуле: $m = V * \rho$, где V – объем отдельной составной части шпиндельного узла; ρ – плотность материала из которого она изготовлена.

Следующий шаг – это перевод весов частей шпиндельного узла в усилия от этих весов, т.е. m (кг) $\rightarrow F$ (Н).

Далее, изобразив расчётную схему шпинделя в вертикальной плоскости и определив реакции опор R_{Ay} и R_{By} , необходимо построить эпюры изгибающего момента M_x и поперечной силы Q_y . Следующим шагом, является построение эпюр изгибающих моментов от единичных сил. Далее необходимо посчитать прогибы под всеми весами (усилиями) при помощи метода Верещагина.

Формула для уточнённого расчёта собственной частоты колебаний шпинделя:

$$f_{\text{собств}} = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{g \sum W_i * y_i}{\sum W_i * y_i^2}},$$

где g – ускорение свободного падения;

W_i – веса элементов, на которые разбит шпиндельный узел;

y_i – прогибы в точках приложения сил.

В результате расчёта собственная частота колебаний шпинделя оказалась равна 602 Гц, что является оптимальным значением для данного шпиндельного узла. А также позволяет выполнить условие виброустойчивости, т.е. $f_c > f_b$, более чем на 30%, при необходимых 20-30%.

В итоге мы получаем то, что расчёт, основанный на сопротивлении материалов, является более точным и позволяет получить реальные значения собственных частот колебаний шпинделя, в отличие, от ориентировочного расчёта, чаще всего, дающего не встречающиеся на практике значения частот колебаний шпинделя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов / Под ред. В.Э. Пуша. М.: Машиностроение, 1985. 256 с.

**ЦИФРОВОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ
КООРДИНАТОГРАФА ДО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО
СТАНКА С ЧПУ**

В.А. Белавин, О.Н. Калачев

Научный руководитель – **О.Н. Калачев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Объясняется проведенная работа по модернизации советского координатографа КПА-1200 до трехосевого многоцелевого фрезерного станка с ЧПУ. Рассматривается методика построения цифрового прототипа в SolidWorks 2018.

Ключевые слова: Цифровой прототип, 3D-модель, SolidWorks 2018.

**DIGITAL PROTOTYPING IN THE DESIGN
AND MODERNIZATION OF COORDINATOGRAPH
TO A MULTI-PURPOSE CNC MACHINE**

V.A. Belavin, O.N. Kalachev

Scientific Supervisor – **O.N. Kalachev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The work carried out on the modernization of the Soviet coordinator KPA-1200 to a three-axis multi-purpose CNC milling machine is presented. The technique of building a digital prototype in SolidWorks 2018 is considered.

Keywords: Digital prototype, 3D model, SolidWorks 2018.

В работе поставлена задача: разработка цифрового прототипа координатографа КПА-1200 для последующей его модернизации до фрезерного станка с ЧПУ «АйТиТехмаш-1», выполняемая с целью решения проблем при сборке, установке и компоновке докупленных составляю-

щих станка и последующего анализа и решения задач в плане прочностного расчета и оценки возможностей станка.

3D-модель создана при помощи изученной CAD SolidWorks 2018 (рис. 1). В сборке корпуса станка используются все виды привязок, от «Совпадения» до «Шарнир». Благодаря большому количеству вариантов сопряжений сборка выполнена таким образом, чтобы анимировать перемещения, которые выполняются на станке при обработке.

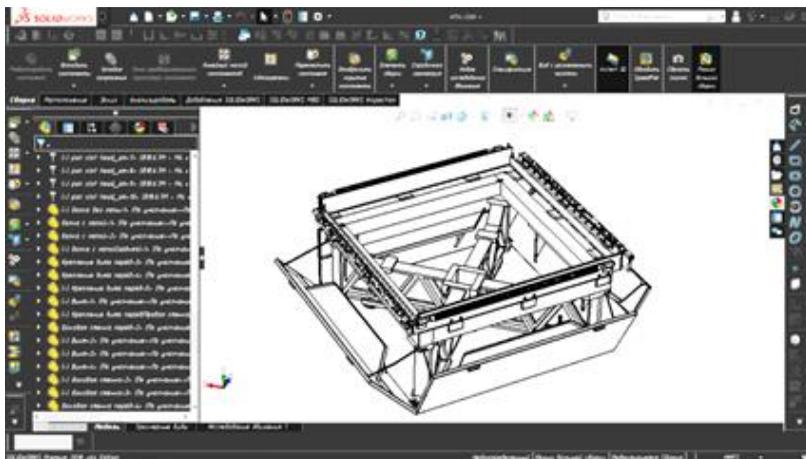


Рис. 1. Интерфейс программы SolidWorks 2018 при работе со сборкой и дерево модели

В основе «АйТиТехмаш-1» лежит координатограф с системой программного управления КПА-1200 з-да "Машприбор", имевший лишь две оси перемещения. Координатограф был дооснащен вертикальной осью Z (рис. 2). Поскольку его система ЧПУ устарела, ее заменили микросхемами, называемыми драйверами шагового двигателя и контроллерами, переводящими сигнал ПК в импульсы (рис. 3). Смонтирован контур охлаждения шпинделя в виде контейнера с охлаждающей жидкостью и погружного насоса с системой шлангов для подачи жидкости внутрь шпинделя. Оси переоснащены шаговыми двигателями Nema 42 и Nema 23 (рис. 4). Все комплектующие приобретены кафедральным МИП АйТиТехмаш.

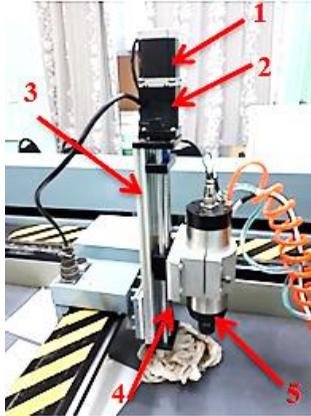


Рис. 2. Докупленная ось Z:

- 1) шаговый двигатель Nema 23, 2) редуктор с передаточным числом 1:10, 3) ШВП с передаточным числом 1:5, 4) скоба крепления шпинделя, 5) шпиндель мощностью 2.2 кВт



Рис. 3. Изменения содержимого шкафа управления:

- 1) исходная печатная плата, 2) драйвер шагового двигателя ТВ6600, 3) контроллер сигнала СЧПУ Mach3

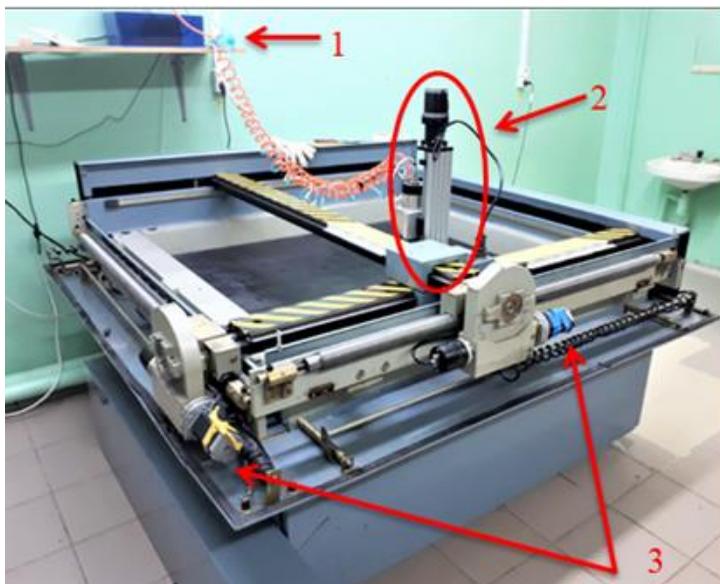


Рис. 4. Измененные детали:

- 1) контейнер с охлаждающей жидкостью, 2) ось Z,
- 3) шаговые двигателя Nema 42

Результатом работы стала цифровая 3D-модель станка. Основной целью модернизации является обеспечение кафедры КИТМС функционирующим оборудованием для выполнения лабораторных работ по нескольким дисциплинам бакалавриата и магистратуры направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дударева Н.Ю. Самоучитель SolidWorks 2010 / Н.Ю. Дударева, С.А. Загайко. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 416 с.
2. Dassault System. 3D Design&Engineering Software [Электронный ресурс]. URL: <https://www.3ds.com>
3. Mach3. Newfangled Solutions CNC Software Home of Mach3 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.machsupport.com>

ОБЗОР ФИЛЬТРОВ СЕТЧАТЫХ ЖИДКОСТНЫХ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ, ОБОРУДОВАННЫХ СИСТЕМОЙ САМООЧИСТКИ

А.Ю. Волевач, Ю.А. Веткин

Научный руководитель – **Ю.А. Веткин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проведен анализ существующих сетчатых фильтров, которые используются в различных промышленных отраслях в качестве очистителей рабочего вещества от различных типов загрязнений.

***Ключевые слова:** сетчатый фильтр, система самоочистки фильтров, гидротурбина.*

OVERVIEW OF FILTERS OF NET FLUID DRAINAGE EQUIPPED WITH A SELF-CLEANING SYSTEM

A.Yu. Volevach, Yu.A. Vetkin

Scientific Supervisor – **Yu.A. Vetkin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The existing strainers which are used in various industrial sectors as a cleaning agent of the working substance from various types of pollution are analyzed.

***Keywords:** screen filter, self-cleaning filter system, water turbine.*

Сетчатые фильтры широко используются в различных промышленных отраслях в качестве очистителей рабочего вещества от различных типов загрязнений (грязи, песка, ржавчины и т.п.). Как правило, такие фильтры устанавливаются непосредственно перед насосными установками. Основное назначение фильтров - удаление из потока фильтруемой жидкости механических примесей.

К особенностям работы сетчатых фильтров можно отнести необходимость периодической чистки сетчатой поверхности. Поэтому при исполь-

зовании таких фильтров в непрерывных процессах, как правило, устанавливают параллельно два фильтра: основной и резервный. Альтернативой данному решению является использование фильтров с системой самоочистки, что должно вести к уменьшению материалоемкости, сокращению затрат на обслуживание.

Автоматическая промывка фильтра сетчатого осуществляется полностью без участия человека. Это возможно за счет установки блока управления, датчика перепадов давления и управляющих клапанов. При достижении перепада давлений 0,08–0,1 МПа генерируется управляющий сигнал, поступающий на исполнительный элемент и запускающий промывку. Промывка продолжается пока перепад давления на фильтре не снизится до определенного значения, из практики ориентировочно до 0,05 МПа.

Рассмотрим наиболее известные варианты таких устройств.

Фильтр с системой вакуумной очистки. Схема фильтра представлена на рис. 1. Очистка фильтрующей сетки осуществляется с помощью вакуумного сканера, который вращается по спирали, удаляя фильтровальный пирог с сетки и выбрасывая его через промывочный клапан.

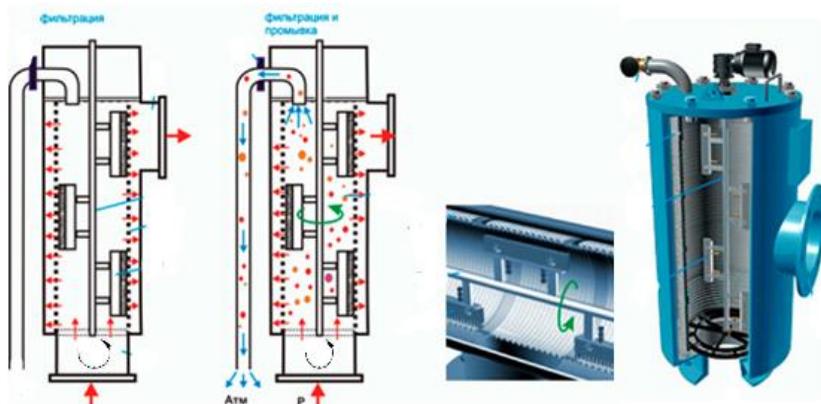


Рис. 1. Фильтр с системой вакуумной очистки

Фильтр с системой очистки поверхности сетки с помощью щеток рис. 2. Механические щетки, размещенные внутри фильтрующего стакана, при поступлении управляющего сигнала начинают вращаться и очищают рабочую поверхность. Осадок удаляется через дренажную систему.

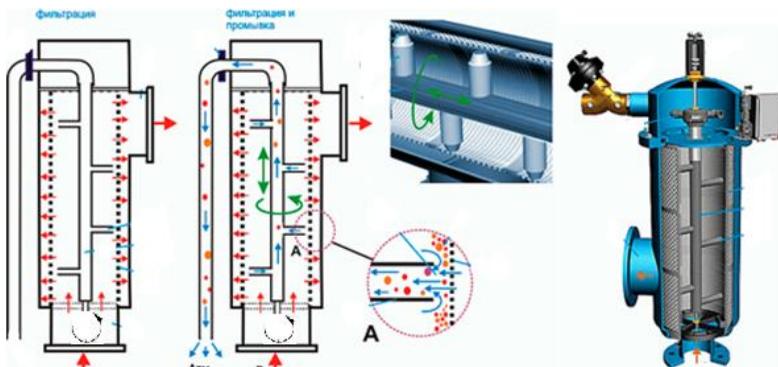


Рис. 2. Фильтр с системой очистки поверхности сетки

У каждого из рассмотренных вариантов есть свои преимущества и недостатки. Оба варианта требуют дополнительных приводов механизмов очистки, причем для варианта с вакуумной очисткой привод должен в себе сочетать как вращательное, так и поступательное движение. Этот факт ограничивает использование подобных устройств.

В связи с этим интересным является использование гидротурбины в качестве привода вала системы очистки. Гидротурбина приводится в движение за счет перепада давления при открытии клапана на дренажной линии, и останавливается при закрытии данного клапана. Такое решение не требует использования электроэнергии для привода вала, отличается компактностью и малой металлоемкостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплотехнологические комплексы и безотходные системы: учеб.-метод. пособ. к курс. пр. / Д.И. Пашенко. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. 64 с.
2. Вся правда о фильтрах-грязевиках. Часть 1. Виды сетчатых фильтров [Электронный ресурс]. URL: https://www.e1.ru/articles/santech/page_1/012/451/article_12451.html/ Дата обращения: 12.03.2019.
3. Самопромывные (самоочищающиеся) фильтры [Электронный ресурс]. URL: http://intech-gmbh.ru/self-cleaning_filters/ Дата обращения: 24.02.2019.
4. Сетчатые фильтры для грубой и тонкой очистки воды [Электронный ресурс]. URL: <https://byreniepro.ru/filtry-dlya-ochistky/setchatye.html/> Дата обращения: 24.02.2019.

УКРЕПЛЕНИЕ ФЛАНЦА, ПРИВАРЕННОГО К КРЫШКЕ АППАРАТА, С ПОМОЩЬЮ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ

И.Б. Петреев, Ю.А. Веткин

Научный руководитель – **Ю.А. Веткин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проведен анализ существующих способов крепления электродвигателей, выявлены достоинства и недостатки существующих креплений, представлен новый способ укрепления фланцевого крепления электродвигателя методом добавления ребер жесткости.

Ключевые слова: вибрация, фланцевое соединение, ребра жесткости.

FLANGE STRENGTHENING PRIVATED TO THE CAP WITH THE HELP OF A HARDENING RIB

I.B. Petreev, Yu.A. Vetkin

Scientific Supervisor – **Yu.A. Vetkin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The existing methods of fastening of electric motors are analyzed, the advantages and disadvantages of existing fasteners are revealed, a new way to strengthen the mounting of the electric motor by adding stiffeners is presented.

Keywords: vibration, flange connection, stiffening rib.

Аппараты с механическими перемешивающими устройствами достаточно широко распространены в промышленности. Основными элементами такого оборудования являются емкость и перемешивающее устройство с приводом. В большинстве своем, перемешивающее устройство устанавливается на верхнее днище емкости. Это место соединения является достаточно ответственным узлом, так как со стороны привода на аппарат передаются статические, и динамические нагрузки, вызывающие вибрации оборудования. С другой стороны, производители оборуду-

дования стараются уменьшить материалоемкость изделий с целью уменьшения их стоимости, массы, габаритов.

Авторами данной работы рассмотрен вопрос оптимизации фланца установки привода на аппарат. В качестве целевой функции выбрана функция массы элементов укрепления фланца, а в качестве ограничения допустимая деформация (угол поворота) фланца штуцера привода под действием нагрузок. Максимально допустимый угол поворота фланца принят на основе рекомендаций производителей приводов перемешивающих устройств – $0,05^\circ$.

В качестве управляющих параметров были приняты: радиус укрепляющего кольца, количество ребер, длина ребер. В качестве нагрузок, передаваемых со стороны привода на штуцер приняты: крутящий и изгибающий момент, поперечная сила и продольная сила. Трехмерная модель привода представлена на рис. 1.

Расчет величин деформаций выполнен в среде Autodesk Inventor. В табл. 1 приведены значения параметров, укладываемые в наложенные ограничения по углу поворота фланца, также указана масса укрепляемой конструкции. На рис. 2 изображена зависимость между количеством ребер заданной длины и радиусом кольца, удовлетворяющая ограничению по углу поворота.

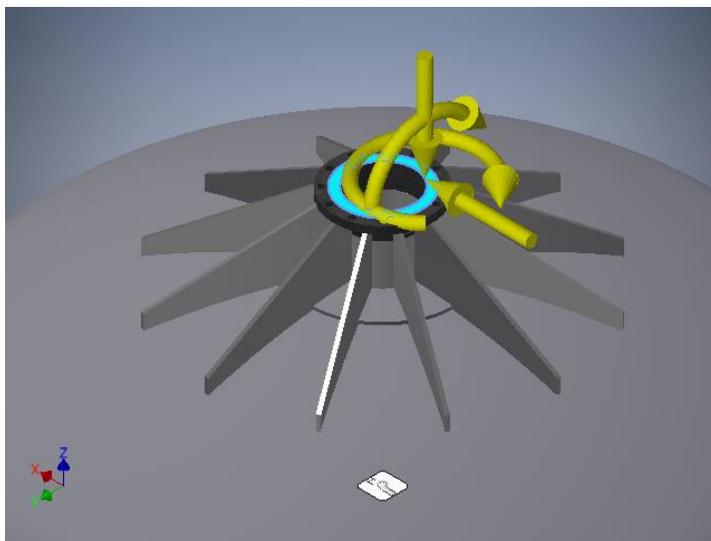


Рис. 1. Расчётная схема, созданная в модели Autodesk Inventor

Таблица 1. Результаты расчёта методом конических элементов с помощью системы Autodesk Inventor

Количество рёбер, шт.	Длина ребра, мм	Радиус укр. кольца, мм	Масса конструкции, кг
3	200	75	22
	250	50	21
4	200	50	24
	230	75	24
	250	25	23
6	200	50	33
	250	0	29
9	200	50	47
	250	0	44
12	200	0	37

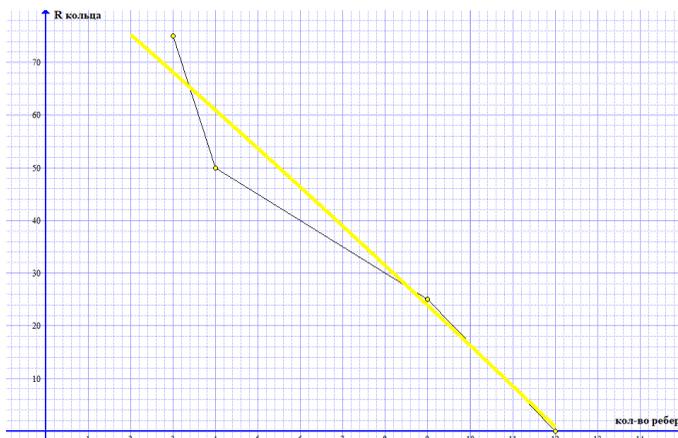


Рис. 2. Зависимость радиуса укрепляющего кольца от количества рёбер

Проанализировав результаты эксперимента, можем сделать вывод, что большую массу в данной конструкции дают рёбра жёсткости, нежели кольцо укрепления, тем самым при укреплении фланца необходимо выбирать минимальное количество рёбер, в нашем случае это три ребра, так как два ребра не дадут фиксации во всех направлениях, поскольку динамические нагрузки носят циркуляционный характер. Укрепление узла только укрепляющим кольцом не дает результата, так как при увеличении его радиуса невозможно добиться желаемого эффекта по допусти-

тому углу поворота фланца. По данным причинам, описанным ранее, в результате эксперимента оптимальным является вариант: с длиной ребра, равной 250 мм, количеством рёбер 3 и радиусом укрепляющего кольца 50 мм.

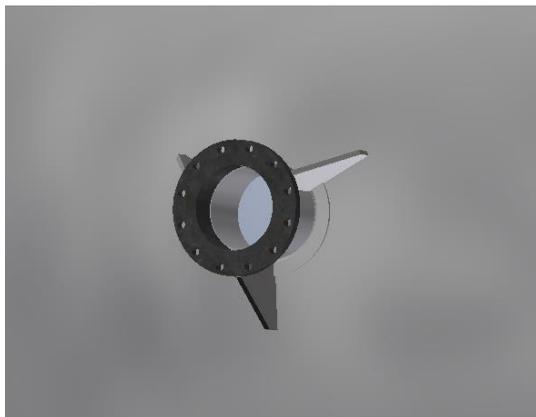


Рис. 4. Выбранная модель укрепления фланца

Проведенный анализ способов усиления конструкции соединения выявил их главные недостатки и позволил разработать метод укрепления, с помощью добавления ребер жёсткости на боковую поверхность фланцаи кольца укрепления. Разработана в среде Autodesk Inventor 3D модель узла укрепления и выполнен расчет данного узла от внешних нагрузок. Проведен выбор конструкции, а именно количества ребер и их расположения, с учетом допустимого угла поворота фланца, при минимальной металлоёмкости деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способы крепления электродвигателей [Электронный ресурс]. URL: szemo.kz (дата обращения: 13.03.2019).
2. Брагинский Л.Н. Перемешивание в жидких средах.[Текст] / Л.Н. Брагинский В.И. Бегачев, В.М.Барабаш. Л.: Химия, 1984. 336 с.
3. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками [Текст] / Ф. Стренк; пер. с польского под ред. И.А. Шушляка. Л.: Химия, 1975. 384 с.