

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Калужский филиал МГТУ имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ

**Материалы
Всероссийской научно-технической конференции**

Том 1



Калуга 2020

УДК 378:001.891
ББК 74.58:72
НЗ4

Руководитель конференции:

А.В. Царьков (директор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана),
А.А. Столяров (зам. директора по научной работе)

Оргкомитет конференции:

Председатель оргкомитета: *Столяров А.А.*
Ученый секретарь: *Лебедев В.В.*

Члены оргкомитета:

<i>Андреев В.В.</i> д.т.н., профессор	<i>Корнюшин Ю.П.</i> д.т.н., профессор
<i>Косушкин В.Г.</i> д.т.н., профессор	<i>Ильин В.В.</i> д.филос.н., профессор
<i>Коржавый А.П.</i> д.т.н., профессор	<i>Горбунов А.К.</i> д.ф-м.н., профессор
<i>Шаталов В.К.</i> д.т.н., профессор	<i>Перерва О.Л.</i> д.э.н., профессор
<i>Мазин А.В.</i> д.т.н., доцент	<i>Рамазанов А.К.</i> к.ф-м.н., доцент
<i>Мальшев Е.Н.</i> к.т.н., доцент	<i>Мельников Д.В.</i> к.т.н., доцент
<i>Пономарев А.И.</i> к.т.н., доцент	<i>Анкудинов А.А.</i> к.т.н., доцент
<i>Шубин А.А.</i> к.т.н., доцент	<i>Максимов А.В.</i> к.т.н., доцент
<i>Сломинская Е.Н.</i> к.т.н., доцент	<i>Орлик Г.В.</i> к.т.н., доцент
<i>Пащенко В.Н.</i> к.т.н., доцент	<i>Жинов А.А.</i> к.т.н., доцент

НЗ4 Научное развитие технологий в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 17–19 ноября 2020 г. Т. 1. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020 –240 с.

В сборнике материалов Всероссийской научно-технической конференции представлены результаты научных исследований, выполненных учеными в течение ряда лет. Систематизированы материалы различных научных школ. Результатами научных исследований являются новые методы, вносящие вклад в развитие теории, а также прикладные задачи, воплощенные в конструкции и материалы.

УДК 378:001.891
ББК 74.58:72

© Коллектив авторов, 2020
© Калужский филиал МГТУ
им. Н. Э. Баумана, 2020
© Издательство МГТУ
им. Н. Э. Баумана, 2020

СЕКЦИЯ 1.

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ВЫБОР ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДЕТАЛИ ТИПА ЗУБЧАТЫЙ ВЕНЕЦ

Итак, проводить анализ будем с использованием конкретных станков на предприятии. А именно: 5K32A, 532C, HF 600 Hofler (CNC). Рассмотрим технологические возможности каждого из этих станков. По результатам сравнения выберем тот, который с большей эффективностью и меньшими затратами способен обработать эту деталь.

Ввиду того, что предприятие обеспечено большой номенклатурой деталей, изготавливаемых зубообрабатывающих станках, а на самом оборудовании, хоть и будет возможно обработать ту или иную деталь, в большинстве случаев, делать это на любом подходящем станке не всегда рационально (например, обрабатывать малогабаритную деталь на тяжелом станке, либо загружать этот же мощный станок большими партиями габаритных заготовок, снижая тем самым его технический ресурс). В качестве компромиссного решения на предприятии, были установлены рекомендации по распределению изготавливаемых деталей на станках. Так, рекомендуемая длина заготовки, как правило, должна составлять не менее 50% и не более 65 % от максимальной возможной длины обработки, указанной в паспорте станка. Однако, для особо важных деталей, производимых в небольших объемах, а так же при малой загрузке станка в течении некоторого времени, допускается обработка деталей любой длины. Рекомендуемый диаметр обработки находится в диапазоне от 40% до 70% от максимально возможного диаметра обработки, указанного в паспорте оборудования. Данная рекомендация исходит из того, что детали с меньшим диаметром разумнее обрабатывать на прутковых полуавтоматах, идеально подходящих для обработки деталей небольшого диаметра. Однако, так же, как и с рекомендуемой длиной заготовки, данной рекомендацией можно пренебречь для особых деталей. Особых рекомендаций по точности станка, обеспечиваемой шероховатости и специальных возможностей (таких, как нарезание резьбы, обработка сложных профилей и других параметров, рассмотренных выше) на предприятии нет. Как правило. Данные параметры важны на последних стадиях обработки детали, то есть чистовых операциях. Выбор станка в таком случае происходит в зависимости от того, сможет ли обеспечить один станок все эти параметры и обработать все необходимые поверхности. Рекомендуемая масса заготовки должна составлять от 5 до 20% максимальной массы заготовки, указанной в паспорте станка. Однако, необходимо учитывать особенности оборудования. Что касается количество зубьев, то на заводе нет системы выбора станка по их количеству. Основная ответственность ложится на технолога изготавливающего этот технологический процесс. Как в целом, и на все параметры указанные выше. Все эти примеры носят чисто рекомендательный характер.

Все три рассмотренных станка способны изготовить зубчатый венец рассматриваемой детали. По всем параметрам каждый из станков способен справиться с задачами, которые будут поставлены перед ними.

Список литературы

[1]. *Ярушин С.Г.* Технологические процессы в машиностроении : учебник для бакалавров / С. Г. Ярушин. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 564 с. – (Серия : Бакалавр. Академический курс). – Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. – URL: <https://biblio-online.ru/bcode/425243>

[2]. *Технология* машиностроения [Электронный ресурс] : вопросы и ответы. Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов / Сост. А. Е. Афанасьев [и др.]. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Вузовское образование, 2015. – 88 С. 2227-8397. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/29275.html>

[3]. *Gear cutting tools: science and engineering, second edition*, Radzevich S.P., Издательство: CRC Press, 606 с., 2017 г. URL: <https://books.google.ru/books?id=C3JQDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false>

Аксенов Сергей Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: perol1997@gmail.com

Мальшев Евгений Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m1@bmstu-kaluga.ru

Д.И. Кузнецов

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ К ПРОИЗВОДСТВУ ИЗДЕЛИЙ ТИПА ЭЛЕКТРОАГРЕГАТ

Основное внимание в работе будет сосредоточено на подготовке производства блока генератора, как наиболее трудоемкого, сложного и, как дальше станет ясно, требующего не переподготовки производства, а полной подготовки полностью нового типа производства.

Следует сравнить состав деталей, входящих в изделия генераторов разной мощности и входящих в разные установки генераторных установок и комплексов.

В изделии можно выделить группы деталей и сборочных единиц, имеющие общие конструктивные и технологические признаки, а также характеризующиеся общностью содержания и последовательности технологической операций и переходов. Типизация технологических процессов позволяет упростить планирование производства, так как можно проводить разработку производственного процесса только для детали-представителя для группы изделий и использовать эту информацию уже отдельно для каждого изделия с небольшими изменениями из-за каких-либо конструктивных мелких отличий от типового изделия.

Конструктивно можно выделить 3 группы: Комплексы мощностью 4-16 кВт, установки до 12 кВт, установки от 12 кВт.

Изделия группы ГУ отличаются в сборках, но эти отличия обусловлены другой конструкцией основных деталей: вал, корпус, рубашка, щит подшипниковый, что видно из таблицы. Именно изменения в этих деталях, и далее в сборках определяют выходные характеристики генераторной установки.

Для деталей изделия ЭМ ГК конструкция основных деталей значительно отличается. Общий маршрут обработки для типоразмеров ГК-деталей останется прежним, но изменит основную формообразующую операцию – обработку на фрезерном центре.

Коэффициенты применяемости технологических операций. Эти показатели позволяют определить степень технологического единообразия изделия. Они свидетельствуют о возможности применения минимально необходимого количества оригинальных технологических операций изготовления изделия в целях повышения качества продукции и эффективности производства.

Выбор типа заготовок. Для анализа загрузки основного оборудования необходимо оценить время производства 1-го генератора, включающее время операции механической обработки, сборки, измерительных, испытательных и других операций.

Для мелкосерийного производства произведен расчет по укрупненным нормативам. В качестве изделия-представителя был взят генераторный комплекс ГУ-16, так как обладает усредненными характеристиками в сравнение

с остальными комплексами. Рассчитано поштучное время для каждой детали для двух типов заготовок: обработка из прутка и обработка литых заготовок. Следует отметить, что заготовки, полученные литьем по форме приближены к конечной форме изделия, что снизит трудоемкость, ресурсоемкость и время их изготовления.

Следует учесть, что действительная производительность отличается от рассчитанной номинальной из-за реальных потерь различной степени: потери на установку, наладку, ремонт инструментов и оборудования; потери по организационным причинам на хранение, транспортировку заготовок, ситуационные ошибки логистики, потери на доработку и исправление брака и т.д. Отношение действительных затрат рабочего времени к номинальным характеризуется Коэффициентом использования, который можно принять равным 0,75-0,8. Предварительно рассчитанное время изготовления деталей позволяет оценить возможную программу выпуска.

Так как токарно-фрезерных операции занимают большую часть изготовления, предложен вариант создания параллельного потока: детали будут изготавливаться одновременно на нескольких центрах, что позволит сократить время производства.

Также рассмотрена возможность перехода предприятия на 2 сменный режим работы. Расчёт производства деталей на каждом станке предложен исходя из распределения потока деталей по разным станкам, чтобы обеспечить приблизительно равную загрузку станков.

Лучшим вариантом с точки зрения производительности является вариант изготовления всех заготовок литьем, обработка их параллельным потоком при 2 сменном режиме работы, что обеспечит необходимый такт выпуска изделий в месяц.

Список литературы

- [1]. *ГОСТ 27782-88* Материалоемкость изделий машиностроения. Термины и определения
- [2]. *ГОСТ 23945.0-80* Унификация изделий. Основные положения
- [3]. *Яшкин А.А.* Пути повышения эффективности деятельности предприятия / А.А. Яшкин // Студенческая наука и XXI век. – 2017. – № 14.
- [4]. *Ильченко А.Н.* Организация и планирование производства: Учебное пособие / А.Н. Ильченко. – М.: Академия, 2014.

Кузнецов Даниил Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: MrSkynet09@yandex.ru.

Научный руководитель: Мусохранов Марсель Владимирович. КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: m1@bmstu-kaluga.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА ТОЧНОСТЬ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

Точность обработки детали является главным критерием, определяющим её пригодность для работы в составе того или иного изделия. Параметр точности идентифицирует соответствие изготовленной детали требованиям конструкторской документации, а также действующих стандартов и технических условий [1]. Достичь полного совпадения реальных геометрических и качественных параметров поверхностей детали заданных конструктором практически невозможно, однако минимизация погрешностей обработки является решаемой научной и практической задачей.

Повышение точности изготовления деталей и сборки узлов увеличивает долговечность и надежность эксплуатации механизмов и машин. В настоящее время для многих точных изделий требуются детали с допусками в несколько микрон или даже нанометров.

В технических условиях на изготовление деталей различного назначения предусматривается выполнение требований точности и чистоты обрабатываемых поверхностей.

Не менее важным с точки зрения технолога является выбор наиболее эффективного и рентабельного метода обработки, обеспечивающего заданное качество поверхности.

Понятие точности обработки включает в себя несколько показателей [2]:

- точность полученных размеров детали, определяемая их отклонениями от значений, указанных в конструкторской документации (т.е. от заданных чертежом);

- точность формы элементарных поверхностей детали, определяемая отклонениями реального профиля от формы профиля, заданной чертежом. Примерами таких отклонений могут служить выпуклость или вогнутость профиля, овальность, огранка, конусообразность, бочкообразность, седлообразность и т.д.

- точность взаимного расположения поверхностей детали. Этот параметр характеризует отклонение реального расположения поверхности от заданного чертежом. Различают следующие отклонения расположения: несоосность, неперпендикулярность, непараллельность, торцовое и радиальное биения, несимметричность и др.

Существует несколько направлений повышения точности механической обработки деталей [3]. Одни из этих направлений указывают общие пути повышения точности, другие относятся только к скоростной обработке.

1. Правильный план операций является первым условием обеспечения требуемой точности. Необходимо выбирать методы обработки, наилучшим образом соответствующие всем особенностям каждого конкретного случая.

Также важно назначить правильную последовательность операций, которая обеспечит базировку на всех установках.

2. Установка детали на станке и её закрепление должны обеспечивать заданную базировку и одновременно способствовать минимизации деформаций от зажимных устройств. В то же время закрепление должно быть достаточно надежным, чтобы положение детали сохранялось неизменным при воздействии усилий резаний [4].

3. Необходимо соблюдать постоянство всех факторов, влияющих на точность обработки.

4. Важное значение имеют систематическое изучение и анализ погрешностей обработки. Зная характер и величину погрешности, можно выявить её причину, а значит, найти способы устранения (или сведения к минимуму) этой погрешности.

5. Особую роль играют исследования, основанные на экспериментах и технических расчетах. На основе этих исследований можно установить зависимости, относящиеся к систематическим погрешностям обработки, вызываемым геометрической неточностью станка, инструмента, приспособления, износом инструмента, температурными деформациями и упругими отжатыми элементами технологической системы.

6. Крайне важна геометрическая точность станков. Для обеспечения заданной точности обработки в ряде случаев достаточно соблюсти лишь некоторые из требований, предъявляемых к геометрической точности узлов станка. Особое значение имеют высокое качество подшипников шпинделя и вращающегося центра задней бабки.

7. Износ лезвий режущего инструмента должен сводиться к минимальным значениям. Это условие достигается путем применения твердых сплавов для изготовления инструмента, а также тщательной доводкой режущей кромки. Начальный износ режущего инструмента происходит гораздо быстрее, чем нормальный износ. Для сокращения начального износа особое значение имеет доводка резцов.

8. Температурные деформации инструмента могут оказывать значительное влияние на точность выполняемого размера, особенно при высоких скоростях резания. Существуют определенные средства для уменьшения этого влияния. К ним относятся: уменьшение сечения стружки, применение инструментов с большим сечением стержней и толстыми пластинками твердого сплава, сокращение вылета резцов, использование охлаждения инструмента, обеспечение постоянства загрузки инструмента с минимальными перерывами.

9. Температурные деформации станка также оказывают некоторое влияние на точность обработки. Для уменьшения погрешностей, вызываемых этим фактором, необходимо прогревать станок на холостом ходу перед началом выполнения операции, и в дальнейшем обеспечить минимальные перерывы в работе станка.

10. Повышение жесткости упругой технологической системы.

11. Немаловажный фактор, влияющий на точность размерной обработки деталей - вибрации. Вибрации в процессе обработки резко ухудшают чистоту обработанной поверхности. При обычных режимах резания и достаточной жесткости заготовок вибрации находятся в пределах допустимых норм.

Таким образом, при соблюдении всех необходимых требований и рекомендаций при подготовке производства, велика вероятность получить деталь с достаточно высокой точностью.

Список литературы

[1]. *Кузнецов Д.И., Мусохранов М.В.* Анализ современных методов обеспечения точности//Материалы Всероссийской научно-технической конференции. 2019. Т.1. С.6.

[2]. *Корсаков В.С.* Точность механической обработки. – М.: Машгиз, 1961. – 379 с.

[3]. *Соколовский А.П.* Точность и пути её повышения. – М.: Машгиз, 1951. – 488 с.

[4]. *Механическая обработка тел вращения* [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / М.Г. Галкин [и др.]. – Электрон.текстовые данные. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. – 222 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66171.html>. – ЭБС «IPRbooks» (дата обращения 30.10.2020).

Касумов Николай Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
Email: nikolay-kasumov@mail.ru

Зенкин Николай Васильевич – к.т.н., доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВОЙ КОЭФФИЦИЕНТА СМЯТИЯ ПРОФИЛЯ

Недавно введенный в России стандарт ГОСТ Р ИСО 4287 - 2014 «Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры поверхности», объединил в себе параметры шероховатости поверхности и их описание [1]. Этот стандарт ещё мало изучен и требует к себе привлечение большого внимания.

В данном стандарте идет рассмотрение амплитудных, шаговых и гибридных параметров. А также имеются параметры, описывающие эксплуатационные свойства поверхности. Благодаря этим параметрам, имеется возможность наиболее точно охарактеризовать те или иные свойства обработанной поверхности и выявить новые закономерности влияния режимов резания, геометрических параметров режущего инструмента, свойств материала и других различных факторов на профиль и качество изделий в машиностроительном производстве.

У каждой поверхности есть свой микрорельеф и благодаря нему рабочие поверхности двух деталей могут «сцепляться» или скользить друг относительно друга. Помимо этого, от микрорельефа зависит способность удерживать смазку. В связи с этим для достижения того или иного свойства следует получать различный микрорельеф путем применения определенных значений факторов, влияющих на него. Для контроля шероховатости рассматриваемый стандарт имеет такой гибридный параметр как «кривая коэффициента смятия профиля» (material ratio curve of the profile) [1].

Шероховатость поверхности может охарактеризовать так называемая кривая профиля доли материала, также называемой кривой Эбботта – Файрстоуна. Она может быть инструментом, чтобы оценить не только текстуру поверхности, но и изменения качества поверхности и качества формы, относящихся к этой кривой, отражающую изменения в геометрии поверхностного слоя [2].

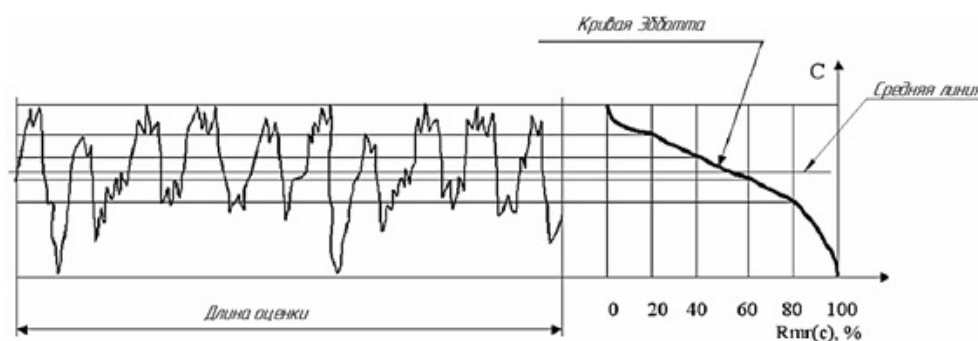


Рис. 1. Кривая коэффициента смятия (Кривая Эбботта)

Полезные свойства кривой могут использоваться в таких областях, как измерение поверхностного износа двигателей внутреннего сгорания, износ

гидравлических цилиндров, анализ качества поверхности основных частей оборудования в машиностроении, а также расчет объема материала, который необходимо задать для обработки [3, 4]. Кривая профиля Эбботта позволяет реально визуализировать распределение высот пиков и впадин в профиле при различных типах механической обработки [5].

Параметром, описывающим эту кривую, является коэффициент $Rmr(c)$ определяется как отношение длины носителя профиля к расчетной длине:

$$Rmr(c) = \frac{100}{\ln} \sum_{i=1}^m Ml_i(c) = \frac{Ml(c)}{\ln} [\%],$$

где $Ml(c)$ – отношение длины материала элементов профиля при заданном уровне c к длине оценки.

При оценке поверхности используется графическая интерпретация кривой Эбботта, которая графически описывает распределение материала в диапазоне длин профиля. В итоге получаем сумму пересечений разрезов профиля по абсциссам, параллельным средней линии профиля.

Изучение поверхностей с помощью кривой Эбботта позволяет моделировать эффекты износа и процесса окончательной обработки. Кроме того, эта кривая даёт информацию о материалах и объёмах впадин, характеризующих топографию поверхности. Также кривая Эбботта может быть полезна для определения и использования функциональных параметров в 3D-анализе.

Список литературы

[1]. *ГОСТ Р ИСО 4287-2014. Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения-параметры структуры.*

[2]. *C. Georgescu, G C Cristea, C Dima et al / Evaluating lubricating capacity of vegetal oils using AbbottFirestone curve/ Department of Mechanical Engineering, 2017, 8с.*

[3]. *R. Kumar, S. Kumar, B. Prakash, A. Sethuramiah, Assessment of engine liner wear from bearing area curves, Wear, 239 2000 г, 333с.*

[4]. *Zdenko LIPA, Dagmar TOMANÍČKOVÁ / Utilisation of Abbott-Firestone curves characteristics for the determination of turned surface properties/ Slovak University of technology in Bratislava, 2011 г, 4с.*

[5]. *Milton Coba Salcedo , Irene Buj Coral and Guillermo Valencia Ochoa / Characterization of Surface Topography with Abbott Firestone Curve/ Dept. of Mechanical Engineering, Universidad del Atlántico, Colombia, 2018 г, 11с.*

Марочкин Владислав Вадимович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: marochkin_vlad@mail.ru

Мусохранов Марсель Владимирович – к.т.н., доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, E-mail: marsel@bmstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАЛАДКИ СТАНКОВ

В современном мире развития разных сфер деятельности человека происходит стремительно быстро. Машиностроение не является исключением, машиностроительные предприятия стараются развиваться и совершенствоваться в ногу со временем. Развитие предприятий происходит за счет: усовершенствования технологических процессов, повышения работоспособности оборудования и персонала, уменьшения времени на изготовление изделий повышения их качества; замещения рабочей силы современными роботами и манипуляторами, модернизации процессов наладки оборудования. Из всех перечисленных методов остановимся на процессе наладки оборудования, его сущности, особенностях, видах. На предприятиях процесс наладки выполняют сами станочники или операторы станков с ЧПУ [1].

Под наладкой в машиностроении понимают подготовку технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции [1]. Подготовка подразумевает под собой:

- установка и выверка положения станочного приспособления, предназначенного для базирования и закрепления заготовки на рабочем органе станка;

- установка на станке и настройка заданного положения инструмента и заготовки;

- построение цикла работы станка в соответствии с расчетной циклограммой движения режущего инструмента;

- настройка рассчитанных режимов резания;

- обработка пробных заготовок;

- контроль точности и качества обработки и при необходимости подналадка оборудования.

Во время процесса наладки необходимо учитывать основные факторы изделия, такие как: габариты, форма и размер.

К исследуемому процессу следует относиться с большей ответственностью, для обеспечения требуемой точности и шероховатости поверхности, что влечет за собой изготовления годной продукции и позволяет минимизировать процент бракованных деталей, что в свою очередь положительно влияет на производство в целом [3].

Всегда процесс наладки сопровождается технологической документацией в виде чертежа наладки для каждой требуемой операции, который является документом, благодаря которому, производят полную подготовку оборудования к работе [2].

На рис. 1 представлен чертеж наладки.

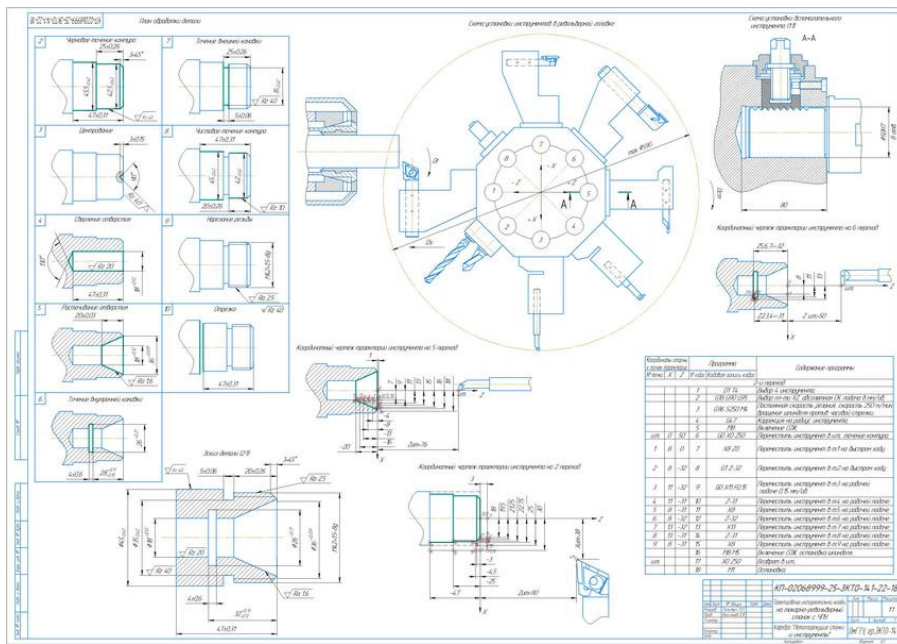


Рис.1. Чертеж наладки

При перестроении на новую заготовку необходимо производить новую наладку, а это ввод новых режимов резания, замена приспособления или оснастки, смена или добавление нового инструмента и на это все тратится много времени, так как по окончании работ должна получиться годная деталь [4].

Существуют три типовых метода наладки оборудования: по пробному проходу, деталям и детали – эталону.

В целом необходимо максимально минимизировать время на полную наладку станка, оптимизировать сам процесс, но при этом не терять в качестве получения обрабатываемых поверхностей. На процесс наладки можно повлиять правильным выбором типа наладки, постараться осуществлять не полную наладку оборудования, а только его подналадку под новую заготовку, например применять смену инструмент без подналадки. Усовершенствование, ускорения и упрощения процесса наладки на производстве являются первостепенными целями на ближайшие годы в машиностроении [5].

Список литературы

[1]. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б.В. Шандров, А.Д. Цудаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. 368 с.

[2]. Тарабарин О.И., Абызов А.П., Ступко В.Б. Проектирование технологической оснастки в машиностроении. 2-е изд., испр. и доп. –М.: Лань, 2013. – 304 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5859.

[3]. Конструкция и наладка станков с ЧПУ : учебное пособие / А.Г. Схиртладзе, В.Г. Кулаков, В.Б. Моисеев, А.С. Грачев. – Пенза : ПензГТУ, 2012. – 107 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/62560> (дата обращения: 02.11.2020).

[4]. *Станки с ЧПУ в машиностроительном производстве. Часть 1 : учебное пособие* / В.И. Аверченков, А.А. Жолобов, Ж.А. Мрочек [и др.]. – Брянск : Брянский государственный технический университет, 2012. – 216 с. – ISBN 978-5-89838-539-2. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/7009.html> (дата обращения: 02.11.2020).

[5]. *Фещенко В.Н. Слесарное дело. Механическая обработка на станках. Книга 2 : учебное пособие* / В.Н. Фещенко. – М.: Инфра-Инженерия, 2013. – 464 с. – ISBN 978-5-9729-0054-1. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/13547.html> (дата обращения: 02.11.2020).

Платонов Владислав Вадимович – студент КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана. E-mail: vladplatonovchills@mail.ru

Бысов Сергей Александрович – к.т.н., доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: bysov.s@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОГО МЕСТНОГО УГЛА НАКЛОНА ОЦЕНИВАЕМОГО ПРОФИЛЯ

Введение. Основными параметрами шероховатости поверхности являются параметры, указанные в ГОСТ 2.309-73 «Обозначение шероховатости поверхностей». Совместно с этими параметрами имеет значение и направление микронеровностей, полученных в процессе обработки. Например, при фрезеровании направление микронеровностей может быть: параллельное, перпендикулярное, перекрещивающиеся, произвольное, кругообразное, радиальное. Очевидно, что на формирование глубины и высоты, а также направления неровностей поверхности изделия оказывают влияние такие факторы как метод обработки, геометрическая форма обрабатываемой детали, геометрия режущего инструмента, физико-механические свойства детали и режущего инструмента, наличие смазочно-охлаждающей жидкости, жесткость системы станок-приспособление-инструмент-деталь, способа изготовления заготовки и конечно же технологические режимы резания. Понимание влияния режимов обработки на качество поверхности, то есть на шероховатость, чрезвычайно важно для современного машиностроения, авиастроения, аэрокосмической отрасли, приборостроения и других видов производства.

Стандарты. В 2014-2016 году в России были стандартизированы и закреплены в ГОСТ Р ИСО 4287-2014 современные амплитудные, шаговые, высотные и гибридные параметры шероховатости такие как местный и среднеквадратичный угол наклона поверхности профиля поверхности, эксцесс оцениваемого профиля, высота и глубина пика оцениваемого профиля, длина материала профиля при уровне с $Ml(c)$, асимметрия оцениваемого профиля, коэффициент смятия профиля, различие высоты среза профиля, амплитуда кривой высоты профиля и т.д [1]. Все вышеперечисленные параметры более детально описывают реальный вид и состояние поверхности. Так, например, при идентичных параметрах Rz и Ra две разные поверхности могут иметь совершенно различный вид профиля, соответственно, и различные механические свойства, что напрямую влияет на их поведение при эксплуатации и срок службы [1]. Поэтому изучение зависимости современных амплитудных, шаговых и гибридных параметров шероховатости от режимов и способов обработки остается актуальным.

Гибридные параметры. Одним из гибридных параметров оценки профиля поверхности является $R\Delta q$ (Среднеквадратичный угол наклона) [4]:

$$R\Delta q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l \left(\frac{d}{dx} Z(x) \right)^2 dx} \quad (1)$$

$R\Delta q$ рассчитывается на основе значений местного угла наклона в пределах базовой длины, следовательно, параметр $R\Delta q$ зависит от ординаты ΔX . Местный угол наклона рассчитывается по формуле [1, 3]:

$$\frac{dz_i}{dx} = \frac{1}{60\Delta X} (z_{i+3} - 9z_{i+2} + 45z_{i+1} - 45z_{i-1} + 9z_{i-2} - z_{i-3}). \quad (2)$$

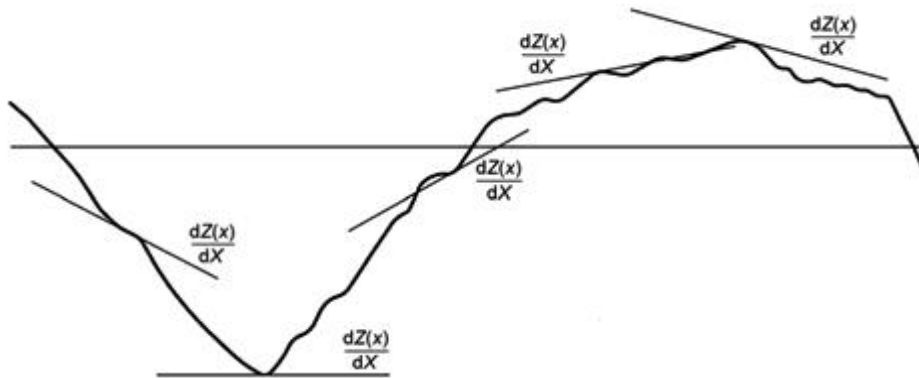


Рис. 2. Местный угол наклона профиля

Местный угол наклона является производной от $Z(x)$. Для расчёта обычно используют семиточечную формулу (2), показанную выше, так как с её помощью можно получить более точную оценку состояния поверхности, но также существуют трех- и двухточечные, которые позволяют произвести расчет быстрее и проще, но из-за меньшего количества учитываемых данных, результат будет менее точным [2].

Трехточечная формула:

$$\frac{dz_i}{dx} = \frac{z_{i+1} - z_{i-1}}{2\Delta X}. \quad (3)$$

Двухточечная формула:

$$\frac{dz_i}{dx} = \frac{z_i - z_{i-1}}{\Delta X}. \quad (4)$$

Заключение. От значений приведенных параметров будут зависеть функциональные свойства будущей детали. Например, качество сопряжения деталей или посадки. Также эти параметры влияют на износоустойчивость, контактную прочность, адгезионные свойства (важно при покраске). Светоотражательная способность поверхностей, теплопередача, фрикционные свойства, способность удерживать смазочные компоненты – это все свойства, непосредственно зависящие от значения среднеквадратичного угла наклона профиля.

Список литературы

[1]. ГОСТ Р ИСО 4287-2014. Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры.

[2]. Табенкин А.Н., Тарасов С.Б., Степанов С.Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт / Под ред. к.т.н. Н.А. Табачниковой. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007, – 136с.

[3]. *Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)*. An American National Standard. ASME B46.1-2009/ The American Society of Mechanical Engineers, Three Park Avenue, New York 10016-5990.

[4]. *D. Nakar, D. Feuermann / Surface roughness impact on the heat loss of sola vacuum heat collector elements*, 2016г, 22с.

[5]. *ГОСТ 2.309-73*. Обозначения шероховатости поверхностей

Фадеев Ростислав Романович – студент, бакалавр; Калужский двигатель. E-mail: rostislavfadeev77@gmail.com

Мусохранов Марсель Владимирович – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: marls77@ya.ru

НАНОПОКРЫТИЯ НА РЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ

Режущий инструмент является самым слабым звеном в технологической системе. Поэтому защита инструментального материала от износа является главной проблемой процесса обработки заготовок резанием [1]. Повышение срока службы режущего инструмента ведет к повышению производительности и ресурса производства.

Наиболее универсальную защиту рабочих поверхностей инструмента обеспечивают разного рода износостойкие покрытия, свойства которых можно комбинировать и варьировать в зависимости от условий их работы. Наиболее широко используемые для защиты режущего инструмента от износа покрытия, такие как TiAlN и TiCrN, характеризуются значительной хрупкостью, поскольку имеют высокую микротвердость. Это значительно сужает область их применения.

Одним из наиболее перспективных направлений развития решения вопроса защиты рабочих поверхностей режущего инструмента от износа является применение многослойных композиционных наноструктурированных покрытий, получаемых методами вакуумно-дугового осаждения [1].

Размеры зерен нанопокровтий не превышают 100 нм [2]. С уменьшением толщины защитного покрытия снижается количество его дефектов, возможная пористость, размер кристаллитов, повышается сплошность адгезия покрытия к подложке, растет способность к сопротивлению хрупкому разрушению [2; 3]. Эти факторы позволяют охарактеризовать нанопокровтие как твердую смазку, которая, обладая высокой твердостью и антифрикционными свойствами, препятствует абразивному изнашиванию, распространению сетки усталостных трещин и выкрашиванию рабочих поверхностей инструмента [4].

Уникальный комплекс свойств, характерных даже для монослойного покрытия, обеспечивается особой формой и структурой входящих в его состав наночастиц и границ их раздела. В обычных материалах рост микротвердости неизбежно сопровождается повышением хрупкости. Чем меньше размер частиц в нанопокровтии, тем выше теплоемкость, внутренняя энергия и энтропия системы. Это обуславливает увеличение пластичности при повышении микротвердости и внутренней энергии ввиду роста энтропийного фактора [4]. После уменьшения размера зерна наноструктуры до определенного критического значения значение микротвердости начнет уменьшаться из-за проскальзывания, возникающего на межзеренных границах (наноразмерный эффект), и может быть предотвращено формированием особой структуры с упрочнением границ зерен.

Особые свойства наноструктурированных многослойных покрытий достигаются осуществлением релаксации их внутренних напряжений, число которых растет при увеличении общей толщины покрытия. Это осуществляется

за счет регулирования кристаллографической ориентировки релаксирующих слоев и характера их сопряжения с другими слоями [5].

Разрушение износостойкого покрытия на режущем инструменте происходит чаще всего из-за возникновения микротрещин с их последующим развитием в макротрещины. Это объясняется недостаточной трещиностойкостью и адгезионной связью с инструментальным материалом [6]. В связи с этим, следующим этапом развития износостойких покрытий являются наноструктурированные многоэлементные и многослойные покрытия, которые обладают особыми эксплуатационными физико-механическими свойствами, повышенным сопротивлением трещинообразованию и отличным от классического механизмом пластической деформации системы «режущий инструмент с покрытием». Многослойные нанопокрyтия наименее склонны к трещинообразованию ввиду рассеивания энергии трещинообразования на границах раздела слоев.

Список литературы

[1] *Мухамадеев В.Р., Мухамадеев И.Р., Бальшева Э.Г., Киселева М.А.* Влияние композиционных покрытий на износ твердосплавного режущего инструмента // Современные проблемы теории машин. 2019. № 7. С. 105-108.

[2] Григорьев С.Н., Табаков В.П., Волосова М.А. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента. Монография / Старый Оскол, 2011.

[3] *Корешков А.В., Денисов Л.В., Бойцов А.Г.* Нанесение антифрикционных и износостойких многокомпонентных покрытий на титановые сплавы электроискровым легированием // Современные материалы, техника и технологии. 2018. № 6 (21). С. 99-106.

[4] *Волосова М.А., Григорьев С.Н., Могилевский А.М.* Исследование эффективности нанесения нанопокрyтий на концевые твердосплавные фрезы // Вестник МГТУ Станкин. 2011. № 4 (17). С. 24-30.

[5] *Каблов Е.Н., Мубояджян С.А., Луценко А.Н.* Наноструктурные ионно-плазменные защитные и упрочняющие покрытия для лопаток газотурбинных двигателей // Вопросы материаловедения. 2008. № 2 (54). С. 175-186.

[6] *Ширманов Н.А.* Влияние поверхностей раздела на свойства и разрушение режущего инструмента с наноструктурированными ионно-плазменными покрытиями // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2010. Т. 15. № 3-1. С. 897-898.

Анкуда Эвелина Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: e.ankuda@mail.ru

Калмыков Вадим Владимирович – ст. преподаватель кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kalmukovvv@bmtu.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОГРАНКИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ НАРУЖНОЙ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОЙ РЕЗЬБЫ ДИСКОВОЙ ФРЕЗОЙ

Для вывода формул, рассмотрим схемы перемещения 2-х последовательно работающих зубьев фрезы при фрезеровании резьбы дисковой фрезой наружного касания.

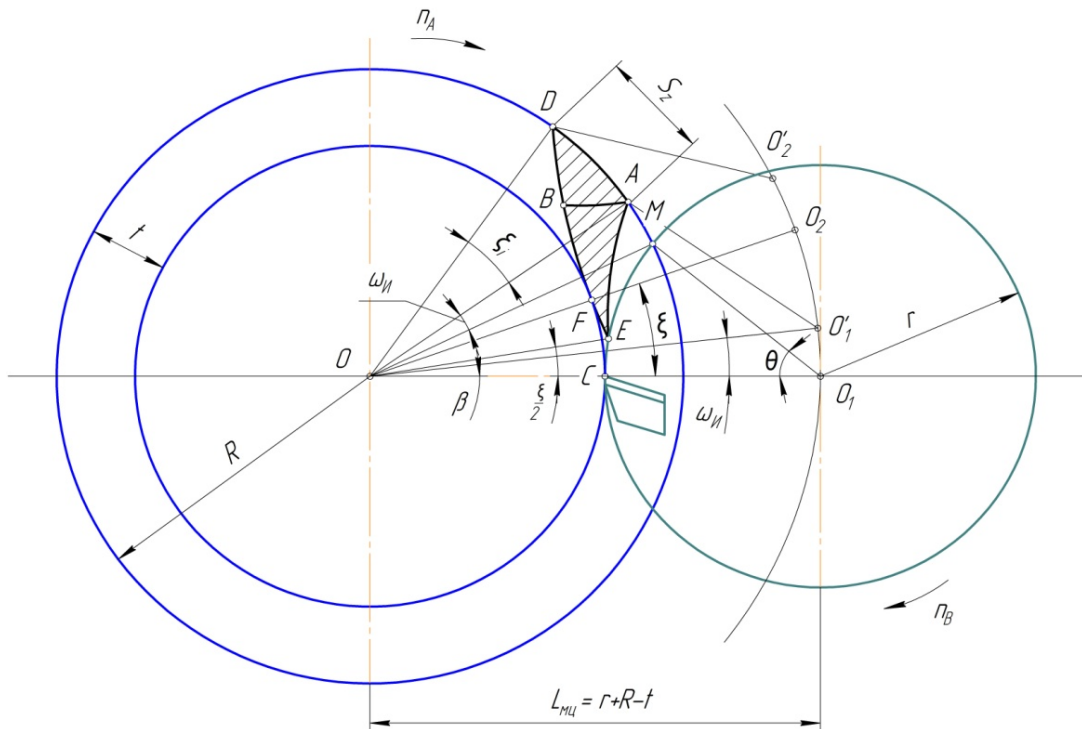


Рис. 1. Схема фрезерования резьбы дисковой фрезой на всю глубину припуска

Когда центр инструмента находится в точке O_1 , первый зуб касается детали в точке C , расположенной на радиусе $R - t$. При повороте инструмента на угол контакта θ , вершина 1-го зуба должна выйти из припуска в точке M , расположенной на окружности радиуса R . Но т.к. деталь не стоит неподвижно, а медленно вращается вокруг своего центра O , то за время поворота инструмента на угол θ деталь повернется на угол ω_u и вершина 1-го зуба выйдет из припуска не в точке M , а в точке A . Вращение детали вокруг центра O может быть представлено как перемещение центра инструмента по окружности радиуса r из точки O_1 в точку O'_1 .

За время поворота инструмента на угол $\omega_u = \frac{2\pi}{z}$ деталь повернется на угол $\xi = \frac{n_A}{n_B} \cdot \frac{2\pi}{z}$, что соответствует перемещению центра инструмента в точку O_2 . При этом второй зуб инструмента коснется детали в точке F .

К моменту выхода 2-го зуба из припуска и касания им по окружности радиуса R в точке D центр инструмента будет занимать положение O'_2 .

Одной из особенностей фрезерования дисковой фрезой является так называемая «огранка». От величины огранки зависит работоспособность деталей машин. Так, продольные неровности винтовых канавок шариковинтовых передач вызывают высокочастотное радиальное биение шариков, что может приводить к вибрациям, повышенному износу, потере кинематической точности и выходу передачи винт-гайка из строя.

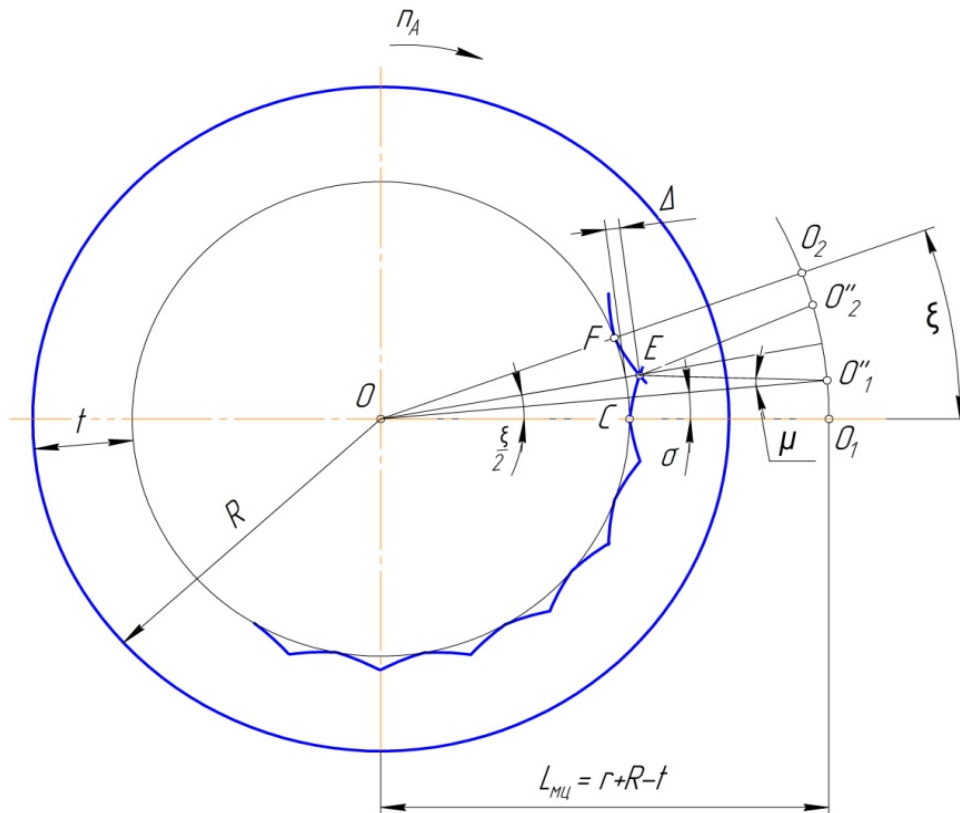


Рис. 2. Схема образования огранки

При схеме наружного касания *высота огранки Δ* будет определяться:

$$\Delta = L_{\mu} \cdot \cos\left(\frac{\xi}{2} - \sigma\right) - \sqrt{r^2 - L_{\mu}^2 \cdot \sin^2\left(\frac{\xi}{2} - \sigma\right)} - (R - t);$$

где σ – угол поворота детали за время поворота инструмента на угол μ , соответствующее промежутку между формообразованием на детали точек C (центр инструмента в точке O_1) и E (центр инструмента в точке O'_1); ξ – угол поворота детали между началом 2-х последующих резов;

$$\frac{\xi}{2} - \sigma = \frac{\frac{\xi}{2}}{1 + \frac{R-t}{r} \cdot \frac{n_A}{n_B}} = \frac{a_{cp} \theta r}{R(2t - a_{cp}) + (R-t)a_{cp} z \frac{\theta}{\pi}};$$

$\left(\frac{\xi}{2} - \sigma\right)$ – разность угла поворота детали между началом 2-х последующих резов и угла поворота детали за время поворота инструмента на угол μ ; θ –

угол поворота вращающегося инструмента, необходимый для врезания его зуба на всю глубину срезаемого припуска (угол контакта);

$$\cos\theta = 1 - \frac{0,5(S+1) \cdot (2R - 0,5S - 0,5)}{2r(r + R - 0,5S - 0,5)}.$$

Средняя толщина среза :

$$a_{cp} = \frac{0,3 \cdot S \cdot s_z}{\theta r + \frac{s_z}{2}};$$

Расстояние между осями вращения детали и инструмента :

$$L_{мц} = r + R - t;$$

Таблица 1.

Последовательность определения высота огранки Δ

1	$\cos\theta = 1 - \frac{0,5(S+1) \cdot (2R - 0,5S - 0,5)}{2r(r + R - 0,5S - 0,5)};$
2	θ
3	$a_{cp} = \frac{0,3 \cdot S \cdot s_z}{\theta r + \frac{s_z}{2}};$
4	$\frac{\xi}{2} - \sigma = \frac{\frac{\xi}{2}}{1 + \frac{R-t}{r} \cdot \frac{n_A}{n_B}} = \frac{a_{cp} \theta r}{R(2t - a_{cp}) + (R-t)a_{cp} z \frac{\theta}{\pi}};$
5	$L_{мц} = r + R - t;$
6	$\Delta = L_{мц} \cdot \cos\left(\frac{\xi}{2} - \sigma\right) - \sqrt{r^2 - L_{мц}^2 \cdot \sin^2\left(\frac{\xi}{2} - \sigma\right)} - (R - t)$

t – глубина резания равная $0,5S$;

S – шаг резьбы;

R – радиус резьбы;

r – радиус фрезы.

Список литературы

[1]. *Левицкий М.Я.* Основы резьбофрезерования, Москва-Киев: Машгиз, 1953. — 155 с.

[2]. *Левицкий М.Я.* Резьбофрезерование, Москва-Киев: Машгиз, 1950. — 192 с.

[3]. *Этин А.О.* Кинематический анализ методов обработки металлов резанием под ред. А.П. Владзиевского, изд. «Машиностроение», Москва, 1964 – 325 с.

[4]. *Якухин В.Г., Ставров В.А.* Изготовление резьбы: Справочник.- М.: Машиностроение, 1989 г. – 192 с., с ил.

Виноградов Владислав Игоревич – студент КФ МГТУ им. Баумана.

E-mail: vinogradov.vl4dislav@yandex.ru

Зенкин Николай Васильевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m1@bmstu-kaluga.ru

В.В. Белокрылова, В.А. Богачев, Д.Н. Михайлов, Е.В. Рыков,
И.В. Солдатова, Е.В. Харитонов, В.К. Шаталов, А.О. Штокал

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЭКРАННО-ВАКУУМНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ СПУСКАЕМЫХ МОДУЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Для выполнения целевых задач космическим аппаратом (КА) необходимо обеспечение на его борту определенных условий функционирования, в том числе тепловых, которые в зависимости от миссии конкретного КА могут существенно отличаться. С учётом особенностей теплообмена КА для отвода от него тепла создается система обеспечения теплового режима (СОТР), которая включает пассивное и активное терморегулирование. К активным средствам относятся циркуляционные системы терморегулирования, в контурах которых создаются необходимые расходы теплоносителей, за счёт чего регулируется температура. Пассивные средства обеспечивают заданные температуры за счет придания элементам конструкции КА определённых теплофизических свойств, при этом не требуют затрат энергии. Одним из наиболее эффективных средств пассивного терморегулирования объектов космической техники в условиях космического пространства является экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ), которая защищает от внешних лучистых тепловых потоков, поступающих от Солнца и планет, а также от излучения наружных поверхностей элементов КА [1]. ЭВТИ представляет собой облицованный с двух сторон набор экранов – плёночных материалов с высокой отражательной способностью, между которыми проложены прокладочные материалы с низкой теплопроводностью, необходимые для предотвращения прямого контакта экранов друг с другом и уменьшения теплопроводности всего пакета ЭВТИ [2].

Миссия спускаемых на поверхность космических тел модулей КА обуславливает при необходимости разрушение их экранно-вакуумной теплоизоляции (ЭВТИ) при входе в атмосферу космического тела, на которое садится КА [3]. Данное требование определяет предельное значение температуры деформации применяемых в составе ЭВТИ материалов. Использование полиимидных плёнок, широко применяемых в настоящее время в качестве облицовочного слоя матов ЭВТИ, возможно в случае нагрева ЭВТИ при посадке спускаемого КА свыше 500 °С. В случае когда температура разрушения ЭВТИ должна быть меньше вышеуказанного значения, возникает необходимость выбора и отработки технологии применения нового материала в качестве облицовочного слоя ЭВТИ.

Целью данной работы являлись поиск и выбор нового облицовочного материала и проведение испытаний по оценке его работоспособности в условиях эксплуатации в составе ЭВТИ спускаемых модулей КА, для которых ориентировочная температура на их поверхности при входе в атмосферу космического тела составляет около 300 °С.

Параметрами для выбора облицовочного материала матов ЭВТИ спускаемых модулей КА были:

- разрушение при температуре не более 300 °С;
- сохранение работоспособности в условиях вакуума в диапазоне температур от минус 170 °С до плюс 150 °С длительно и до плюс 185 °С кратковременно (суммарно не более 3 минут);
- коэффициент поглощения солнечной радиации A_s не более 0,4;
- степень черноты ϵ не менее 0,6;
- удельное поверхностное электрическое сопротивление не более 10^8 Ом;
- стойкость к суммарной поглощённой дозе радиации не менее 5 Мрад.

На основе анализа технических характеристик различных материалов для обеспечения требований по гарантированному разрушению матов ЭВТИ при температуре не выше 300 °С в качестве облицовочного материала была предложена полиэтилентерефталатная плёнка толщиной 20 мкм, металлизированная с одной стороны алюминием, и с нанесённым прозрачным антистатическим покрытием с другой стороны [4]. Температура плавления данного материала составляет около 260 °С, что позволило сделать предположение о том, что маты, в составе которых облицовочным материалом является данная плёнка, подвергнутся разрушению при температуре, близкой к 300 °С.

Для подтверждения возможности использования полиэтилентерефталатной плёнки в качестве облицовочного слоя были проведены комплексные испытания, целью которых являлось подтверждение соответствия её характеристик вышеизложенным параметрам после воздействия факторов эксплуатации, а именно температур. Для испытаний были изготовлены опытные образцы матов ЭВТИ размером 200 x 200 мм следующего состава:

- внешний облицовочный материал – полиэтилентерефталатная плёнка толщиной 20 мкм, металлизированная с одной стороны алюминием, и с нанесённым прозрачным антистатическим покрытием с другой стороны;
- 15 слоёв экранного беспылевого материала;
- внутренний облицовочный слой – полиэтилентерефталатная плёнка толщиной 15 мкм, металлизированная с двух сторон алюминием.

Внешний и внутренний облицовочные материалы и внутренние слои вырезали в размер мата и обклеивали по периметру электропроводящей лентой с липким слоем на основе полиэтилентерефталатной плёнки, металлизированной с одной стороны алюминием и покрытой антистатическим слоем с другой стороны (рис. 1).

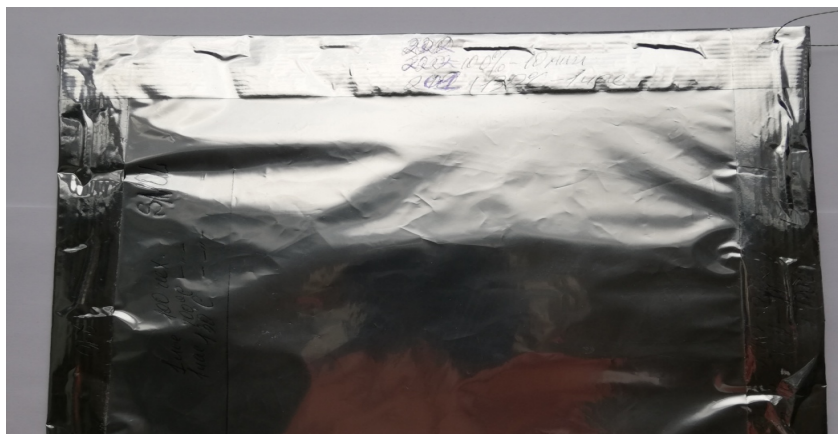


Рис. 1. Опытный мат ЭВТИ в исходном состоянии

С целью оценки влияния воздействия на образцы в условиях вакуума рабочих температур, опытные образцы матов ЭВТИ подвергались воздействию от минус 170 °С до плюс 150 °С и кратковременно до плюс 185 °С (5 минут), имитирующему режим эксплуатации. Внешний вид образцов после данного вида испытаний не изменился. Оптические коэффициенты остались на уровне исходных образцов (A_s 0,16–0,19; ϵ 0,66–0,70), удельное поверхностное сопротивление антистатического слоя образцов составило от 0,5 до 29,0 кОм/квadrat (у исходных образцов от 0,3 до 4,5 кОм/квadrat), прочность при растяжении снизилась на 45 % и осталась на достаточно высоком уровне – не менее 2,2 кгс / см² (у исходных образцов 4 кгс / см²).

После выдержки опытных образцов матов ЭВТИ в электропечи при температуре плюс (155±2) °С в течение 10 минут произошла усадка облицовочной плёнки, которая составила в продольном направлении до 3 % и в поперечном – до 1 %, что соответствует требованиям, предъявляемым к данной характеристике. При установке образцов в непрогретую электропечь (температура плюс (20±5) °С) и выдержке в ней в течение 3 минут при температуре плюс (185±2) °С усадка составила от 3 до 4 %, а при установке образцов в электропечь, разогретую до температуры плюс (185±2) °С, и выдержке при этой температуре в течение 3 минут усадка составила не более 1 %. Данные результаты свидетельствуют о том, что на усадку плёнки одновременно влияют два фактора: время и температура.

Прогрев опытных образцов матов ЭВТИ при температуре плюс 150 °С и плюс 180 °С в течение 1 часа показал, что изменений внешнего вида образцов после воздействия данных температур не происходит, и усадка облицовочной плёнки составляет не более 3 %. После повышения температуры воздействия на опытные маты до плюс 185 °С и прогрева их при данной температуре в течение 1 часа визуально было видно лёгкое натяжение облицовочной плёнки мата ЭВТИ, цвет плёнки не изменился, её усадка составила 4–5 %, оптические коэффициенты и удельное поверхностное сопротивление остались в пределах требуемых значений.

Дальнейшее повышение температуры испытаний, а именно нагрев образцов инфракрасными излучателями до плюс (205–210) °С и выдержке при

этой температуре 1 минуту привели к изменению цвета с серебристого матового на молочно-серый матовый и усадке опытного образца до 10 %. Коэффициент поглощения A_s образцов после данного вида воздействия увеличился до значений от 0,29 до 0,35, степень черноты ϵ осталась на прежнем уровне в интервале значений от 0,62 до 0,65. Антистатические свойства образца сохранились – удельное поверхностное сопротивление образца составило от 3,2 до 19,0 кОм/квadrat. Значение прочности при растяжении осталось на уровне $2,2 \text{ кгс} / \text{см}^2$. Стоит отметить, что при нагреве наблюдался неравномерный прогрев по площади мата. В центре мата температура была ниже, чем по его краям, на (5–8) °С.

При увеличении температуры прогрева образцов до плюс (208–220) °С в течение 10 минут усадка полиэтилентерефталатной плёнки составила от 10 до 12 %, цвет с серебристого матового изменился на молочно-серый матовый, оптические коэффициенты выросли, но антистатические свойства плёнки при этом сохранились.

Для оценки влияния предполагаемой температуры разрушения на опытные маты ЭВТИ был произведён их прогрев в электропечи в горизонтальном положении в течение 10 минут на воздухе. Результаты испытаний при максимальных температурах представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты термических испытаний опытных матов ЭВТИ

№ обр.	Температура прогрева, °С	Усадка, %	Внешний вид
1	250	20	Изменение цвета на молочный матовый, облицовочная плёнка потрескалась, охрупчилась, частично облетела кусками, обнажив внутренние слои мата, целостность которых нарушена растрескиванием. Визуально часть внутренних слоёв мата и липкая лента, приклеенная по контуру мата, сохранили свою целостность (рис. 2)
2	300	25	Изменение цвета на молочно-жёлтый матовый и агрегатного состояния плёнок мата на полимерную массу (все слои мата спеклись между собой и с подложкой из полиимидной плёнки). Полимерная масса потрескалась, при надавливании на неё охрупчивалась (рис. 3)
3	350	30	Продолжение деструкции полимерной массы (в горячем состоянии масса кипела и пузырилась). При охлаждении полимерная масса приобрела коричнево-жёлтый оттенок и ещё больше охрупчилась (рис. 4)

Из данных таблицы следует, что при подъёме температуры прогрева опытных матов ЭВТИ выше 300 °С происходит изменение агрегатного состояния плёнки на полимерную массу, спекание всех слоёв мата ЭВТИ с последующим их охрупчиванием и растрескиванием.



Рис. 2. Образец № 1 после термических испытаний



Рис. 3. Образец № 2 после термических испытаний



Рис. 4. Образец № 3 после термических испытаний

Проведённые испытания позволили установить, что использование полиэтилентерефталатной плёнки в качестве облицовочного слоя позволяет получить работающую в диапазоне температур от минус 150 °С до плюс 150 °С ЭВТИ с гарантированной температурой разрушения не более 300 °С.

Список литературы

[1]. *Матвеев Н.К.* Экранно-вакуумная теплоизоляция и определение её характеристик: учебное пособие. — СПб.: Балт. гос. тех. ун-т, 2012. — 40 с.

[2]. *Жунь Г.Г.* Исследование экранно-вакуумной теплоизоляции с новыми материалами // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. — 2012. — № 8 (102). — С. 56–93.

[3]. *Бондаренко В.А., Куперштейн В.Б.* Обеспечение теплового режима десантного модуля космического аппарата «ЭкзоМарс-2018» // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. — 2014. — № 2 (23). — С. 95–104.

[4]. ГОСТ 24234-80. Плёнка полиэтилентерефталатная. Технические условия. — Введ. 01.01.1982. — М: Издательство стандартов, 1992. — 17 с.

Белокрылова Вера Валентиновна – начальник сектора отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов АО «НПО Лавочкина». E-mail: nio27@laspace.ru

Богачёв Вячеслав Алексеевич – начальник отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов АО «НПО Лавочкина». E-mail: tribolab@laspace.ru

Михайлов Дмитрий Николаевич – заместитель генерального конструктора по испытаниям АО «НПО Лавочкина». E-mail: mdn@laspace.ru

Рыков Евгений Валентинович Начальник сектора конструирования наземных систем Филиал АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга. E-mail: rik@laspace.ru

Солдатова Ирина Викторовна – инженер-технолог II категории отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов, Канд. техн. наук АО «НПО Лавочкина». E-mail: inter-88@ya.ru

Харитонова Елена Всеволодовна – заместитель начальника отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов - начальник сектора АО «НПО Лавочкина». E-mail: nio27@laspace.ru

Шаталов Валерий Константинович – заведующий кафедрой МК5 «Материаловедение и химия», профессор, Д-р техн. наук Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vkshatalov@yandex.ru

Штокал Александр Олегович – ведущий конструктор сектора конструирования наземных систем, Канд. техн. наук Филиал АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга. E-mail: cuauthemocl@yandex.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТЕ В УСЛОВИЯХ АО «КНИИТМУ»

Возможности увеличения производительности и роста качества выпускаемых изделий напрямую связаны с техническим состоянием эксплуатируемого на производстве оборудования. Оно играет весомую роль на каждом машиностроительном предприятии. Именно поэтому вопросу организации и проведения контроля точности оборудования при эксплуатации и ремонте в условиях АО «КНИИТМУ» следует уделить особое внимание.

В соответствии со стандартом на термины и определения понятие «контроль» формулируется как проверка соответствия качества оборудования установленным требованиям. Ввиду узкой специфики темы следует также рассмотреть такое понятие как «эксплуатационный контроль» [1].

Эксплуатационный контроль – это контроль, который предполагает проверку соблюдения организационных и технологических требований, эксплуатационной и ремонтной документации. Объектами эксплуатационного контроля является эксплуатируемое оборудование и технологические процессы его эксплуатации.

Контроль проводится с целью:

- получения первичной информации о фактическом состоянии обрабатываемого оборудования и показателях его качества;
- сопоставления первичной информации с заранее установленными в технической документации требованиями точности тех или иных элементов оборудования;

подавляющее большинство предприятий, в том числе и АО «КНИИТМУ», применяют одинаковый метод проверки точности оборудования и контроля его проведения.

Для минимизации влияния фактора точности, деталь, изготовленную на проверяемом оборудовании, подвергают осмотру на предмет соответствия ей конструкторской и технологической документации. В случае несоответствия детали документации устанавливаются причины этих несоответствий, и они устраняются [2].

Проверка оборудования на технологическую точность должна осуществляться в соответствии со следующими документами:

- ведомостью оборудования, которое необходимо проверить в установленные сроки;
- графиком планово-периодических проверок оборудования на точность;
- паспортом оборудования.

Проверка на точность также включает:

- планово-предупредительный ремонт эксплуатируемого оборудования согласно графику;

- технический осмотр оборудования;
- проверку заменённых либо отремонтированных элементов оборудования;

Техническому осмотру подвергается весь перечень оборудования указанный в ведомости. Осмотр проводится с периодичностью раз в месяц, при котором осуществляется внешний осмотр оборудования и контроль взаимодействия отдельных узлов, которые могут существенно влиять на точность изготавливаемых деталей. Технический осмотр оборудования производится комиссией. Результаты осмотра заносятся в соответствующую ведомость оборудования. Если точность оборудования после осмотра не соответствует техническим требованиям, то такое оборудование подлежит ремонту и последующей проверке[3].

При приёмке оборудования после ремонта должны осуществляться следующие контрольные операции:

- проверка качества сборки различных узлов;
- испытание работы и взаимодействия этих узлов друг с другом на холостом ходу;
- испытание работы и взаимодействия этих узлов друг с другом под нагрузкой и в работе;
- проверка на точность с помощью изготовления контрольных образцов с последующим их замером;
- проверка на жесткость;
- проверка на виброустойчивость;
- контрольная эксплуатация в течение определенного срока.

Если после контрольной эксплуатации оборудования не выявлены дефекты, оно проходит окончательную приёмку, которая оформляется в виде акта.

Список литературы

[1]. *Серегин А.А.* ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ КОРРЕКТНОЙ СТРАТЕГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ / А.А. Серегин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2016. – № 5. – С. 117-124.

[2]. *Земсков Ю.П.* Организация и технология испытаний : учебное пособие / Ю. П. Земсков, Л. И. Назина. – С-Пб. : Лань, 2018. – 220 с.

[3]. *Серегин М.Ю.* Организация и технология испытаний. Часть 1. Методы и приборы испытаний. – Тамбов: изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 84 с.

Даниил Эдуардович Мартынов – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: Danyuchius@yandex.ru

Евгений Николаевич Малышев – зав. кафедрой МК1КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m1-kf@bmstu-kaluga.ru

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Высокоскоростная обработка металлов резанием несет ряд перспектив, таких как повышение точности обработки в условиях высокой производительности, а также качества получаемой поверхности [1]. Высокие режимы обработки позволяют достигнуть повышенной стойкости режущего инструмента, чему способствует также применение износостойких инструментальных покрытий и материалов, обладающих низким коэффициентом трения. Однако, практика показывает, что технологическая себестоимость высокоскоростного резания велика [1]. Её снижение является главной проблемой дальнейшего развития высокочастотной обработки металлов резанием.

При повышенной скорости резания уменьшаются силы резания, что позволяет вести обработку с повышенными подачами, что, в свою очередь, ведет к увеличению площади срезаемого слоя, уменьшению температуры резания и относительному повышению стойкости инструмента [2]. Зависимость температуры в зоне резания от скорости резания показана на рис. 1. Классическая обработка соответствует интервалу *a-b*, однако обработку можно вести и при больших значениях скорости резания. Интервал *b-c* характеризует высокоскоростную обработку. Явление снижения температуры в зоне резания при увеличении скорости резания носит название эффекта Соломона [2] и реализуется преимущественно при фрезеровании, поскольку именно при обработке фрезерованием инструмент и заготовка контактируют циклически, так как при увеличении скорости резания при фрезеровании время контакта стружки с инструментом уменьшается при росте её температуры, в результате чего инструмент и заготовка не успевают уводить тепло и нагреваться. Обработка закаленных сталей на режимах, характерных зоне *b-c*, позволяет избегать отпуска и прижогов заготовок [2].

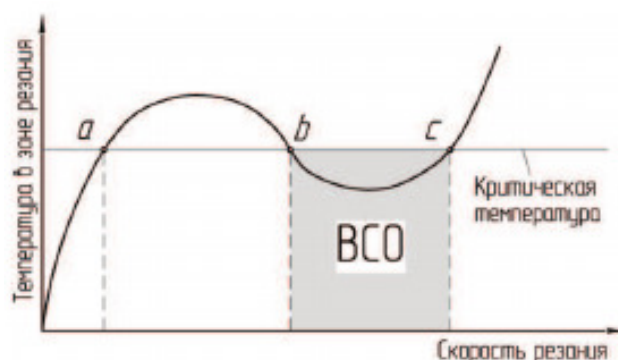


Рис. 1. График зависимости температуры резания от скорости резания

Высокие значения подач при фрезеровании обуславливают высокие требования к системе ЧПУ, характеристиками которой являются время отработки одного кадра, минимальное обеспечиваемое системой перемещение, мак-

симальная частота вращения шпинделя и возможность предварительного просмотра кадров. Износ инструмента и станка также зависят от качества управляющей программы, основными требованиями к которой является постоянство условий резания и сглаженность траектории движения режущего инструмента.

Высокочастотное фрезерование наиболее эффективно при небольших площадях сечения срезаемого слоя при высоких значениях минутной подачи. При этом производительность уменьшается незначительно, однако существенно уменьшаются силы резания [2]. Траектория движения инструмента должна быть плавной и иметь возможно меньшее количество углов, так как динамические нагрузки при их обработке на высоких режимах резания значительно превышают значения, возникающие при классической обработке, в результате чего ухудшается качество обработанной поверхности заготовки и повышается износ инструмента и станка.

Поверхность отфрезерованной заготовки имеет характерную волнистость ввиду прерывистого характера резания (рис. 2) [3]. При высокочастотном фрезеровании (частота вращения шпинделя превышает $15\,000\text{мин}^{-1}$) имеет место интервал частот, характеризующийся более стабильным процессом резания, чем при значениях частот выше и ниже этого интервала (эффект Соломона). «Стабильный» интервал характеризуется пониженными вибрациями и дроблением (рис. 3) [2].

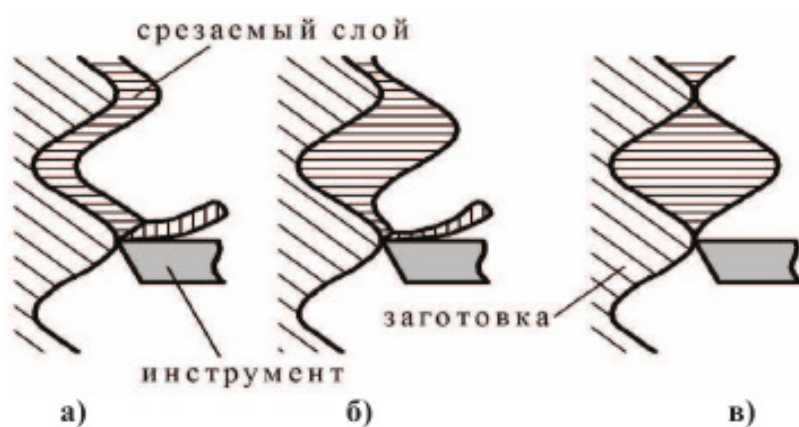


Рис. 2. Диссонанс автоколебаний заготовки и инструмента: *а* – резонанс, *б* – рост противофазности, *в* – диссонанс в противофазе

В зоне *A* (рис. 3) фрезерование происходит стабильно на любой частоте вращения шпинделя, но при небольших глубинах резания, однако такие режимы характеризуются невысокой производительностью, так как она ограничивается максимальным значением частоты вращения шпинделя. Максимальная производительность будет реализована в условиях оптимального сочетания глубины резания и частоты вращения шпинделя.



Рис. 3. Характерный профиль зон обработки в зависимости от частоты вращения шпинделя

На высоких режимах фрезерования основными источниками возмущающих сил, влияющих на динамическую систему станка, являются силы резания, центробежные силы и их взаимодействие (они могут складываться и вычитаться), что значительно влияет на точность обработки, особенно при фрезеровании прямоугольных уступов и вертикальных плоскостей концевыми фрезами [4]. Исследования, описанные в работе [4], показали, что упругое отжатие инструмента увеличивается при росте числа оборотов шпинделя в зоне высокоскоростной обработки, что дополнительно влияет на динамическую систему станка и инструмента, а основными причинами погрешностей геометрических параметров деталей являются деформации технологической системы, остаточные и возникающие в процессе обработки [5]. Таким образом, при высокочастотном фрезеровании технологическая система становится чувствительной даже к небольшим внешним возмущениям, в частности, к колебаниям припуска заготовки, что ведет к значительному искажению траектории формообразования при обработке нежестких заготовок. На данный момент в САМ-системах отсутствует системный подход к выбору стратегии удаления материала, исходя из требуемого качества и точности поверхностей заготовки, отсутствуют методы оценки упругих деформаций технологической системы и качества поверхностного слоя для высокоскоростного фрезерования.

Современные методы высокоскоростной обработки резанием не допускают применение жидкостных смазывающе-охлаждающих технологических сред (СОТС) ввиду возможного растрескивания инструмента в результате термоудара, поэтому, как правило, используется воздушный обдув зоны резания, аэрозольная подача жидких СОТС и масляный туман. Работа [6] показывает и приводит обоснования, что существует метод охлаждения зоны резания при высокоскоростной обработке – технология охлаждения ионизированным воздухом – по сравнению с традиционными методами охлаждения. Способ разработан в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Список литературы

[1] *Новиков Ф.В.* Теоретическое обоснование условий повышения эффективности высокоскоростной обработки / Ф.В. Новиков, О.С. Кленов // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып. : Технологии в машиностроении. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2014. – № 42 (1085). – С. 106-111.

[2] *Оленин Л.Д., Очкин Д.И.* О некоторых особенностях фрезерования в режиме высокоскоростной обработки (ВСО) // Известия МГТУ. 2014. №3 (21).

[3] *Потапов В.А.* Проблемы вибрации при высокоскоростном фрезеровании алюминия в авиакосмической промышленности и способы их решения // По материалам журнала «MODERNMACHINESHOP», январь 2001.

[4] *Башаров Р.Р., Кудояров Р.Г.* Исследование процесса фрезерования концевой фрезой при высоких частотах вращения шпинделя станка // Вестник УГАТУ = Vestnik UGATU. 2012. №4(49).

[5] *Стрельцов П.А., Киселев Е.С.* Повышение эффективности высокоскоростного фрезерования сложнопрофильных заготовок путем совершенствования управляющих программ для станков с ЧПУ в САМ-системе // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. №1-2.

[6] *Есов В.Б., Климочкин К.О., Муратов К.Р., Хурматуллин О.Г.* Применение охлажденного ионизированного воздуха при высокоскоростном фрезеровании // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №4 (4).

[7] *Высокоскоростное фрезерование (HSC).* По материалам проработок фирмы Hermie // Galika AG [Электрон, ресурс]. - Режим доступа: http://www.galika.ru/article_8.htm

[8] *Грачев Ю.В., Пухальская Г.В., Критчин С.В., Панченко Т.А.* Повышение эффективности высокоскоростного фрезерования центробежных колес // Вісникдвигунобудування. 2011. №1.

Соколова Ирина Дмитриевна – доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sokolovairinadm@rambler., rumailto:kalmykovvv@bmstu.ru

Анкуда Эвелина Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: e.ankuda@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ГРУППОВЫХ МЕТОДОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕРЕЖЛИВЫХ ПРОИЗВОДСТВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Групповые методы в машиностроении распространяются как на проектирование и изготовление изделий, так и на проектирование и использование основного и вспомогательного оборудования и средств технологического оснащения.

Групповой подход при проектировании изделий заключается в максимальной унификации их конструкций, что позволяет обходиться минимальным количеством оборудования и комплектом инструмента при изготовлении созданных групп изделий.

В свою очередь оборудование и оснастка, задействованные в групповой обработке, представляют собой результат агрегации требований, предъявляемых к процессу обработки каждого отдельного изделия группы.

«Подстраивая» группу изделий под возможности оборудования и оснастки и, одновременно, «подстраивая» оборудование и оснастку под группу изделий, находят рациональные сочетания их конструкций и характеристик.

Преимущества использования группового метода: перевод обработки значительных групп деталей с универсального, как правило, низкопроизводительного оборудования на специализированное, как правило, более производительное; работа основного и вспомогательного оборудования, а также средства оснащения со значительными группами изделий без переналадки и соответствующих потерь времени; сокращение сроков подготовки производства новых изделий, они по своим характеристикам соответствуют характеристикам существующих групп, для которых производственные процессы являются отлаженными и оснащенными; снижение расходов в связи с переходом на групповую оснастку и инструмент по сравнению с расходами на большое количество типоразмеров оснастки и инструмента, свойственных негрупповым методам, обеспечение условий для применения автоматических линий в мелкосерийном и серийном производстве; пространственная концентрация производства определенных групп изделий, включая концентрацию основного и вспомогательного оборудования и средства оснащения; пропорциональность, ритмичность и непрерывность многономенклатурного производства.

Недостатки применения группового метода по сравнению с изготовлением изделий отдельно: повышенная сложность задач проектирования групповых процессов, а потому, потребность в высокой квалификации лиц, решающих эти задачи; на принятие решений по вопросам проектирования и реализации групповых методов требуется больше затрат временных ресурсов; как правило, более сложная конструкция средств технологического оснащения, которые приобретают выраженную специализацию; как правило, повышенные требования к точности оборудования и оснастки.

Групповой метод эффективно дополняет методы бережливого производства и усиливает их положительный вклад [1].

Жмудь В.А., Димитров Л.В. в своем исследовании [2] приводят пример предприятия, производящего элементы гидроприводов небольшими партиями «на заказ». Эффективное применение, в том числе, методов групповой технологии позволяет обеспечивать и высокую гибкость производства, и низкую себестоимость продукции, и требуемое качество и производительность. Аналогичные результаты приведены в работе Утенкова В.Д. [3] для предприятия, производящего фитинги. На предприятии удалось укрупнить партии запуска отдельных элементов изделий за счет их группирования и в целом сократить объем технологической подготовки производства.

Принципы и подходы групповой технологии непременно должны использоваться при составлении и реализации планов реорганизации машиностроительных производств. В работе Васильева Н.Г. и Новиков Н.И. представлен положительный опыт такой реорганизации для мелкосерийного производства [4].

Вывод. Групповой подход следует рассматривать как один из важнейших компонентов системы «бережливое производство» в машиностроении и элементов концепции SMED.

Список литературы

[1] Третьяков В.М. Роль групповой технологии при реализации принципов бережливого производства // Стандарты и качество. 2017. № 12. С. 56-60.

[2] Жмудь В.А., Димитров Л.В. Автоматизация в мелкосерийном и единичном производстве // Автоматика и программная инженерия. 2016. №1 (15). С. 14-21.

[3] Утенков В.Д. Групповая технология изготовления фитингов // Решетневские чтения. 2013. Т. 1. С. 447-448.

[4] Васильева Н.Г., Новиков Н.И. Повышение эффективности мелкосерийного производства на основе групповой обработки // Евразийский союз ученых. 2016. № 6-2 (27). С. 19-21

Федоров Валерий Анатольевич – старший преподаватель кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m1@bmstu-kaluga.ru

Малышев Евгений Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m1@bmstu-kaluga.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ВИДОВ ЗАГОТОВОК И НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Существующая потребность в удовлетворении запрашиваемых потребителем параметров автомобиля заставляет автомобильные компании модернизировать свой продукт. Конструктивная безопасность, масса, динамика движения, эргономичность – все эти факторы находятся в непрерывном улучшении абсолютно всеми автомобилестроительными компаниями, в том числе и отечественными. Основной задачей этих компаний в первую очередь является снижение веса конструкций с целью уменьшения выброса CO₂ в атмосферу.

На сегодняшний день стратегии уменьшения веса автомобилей можно разделить на три подхода [1]:

1. Использование лёгкого материала. Традиционные низкоуглеродистые стали могут быть заменены материалами с высокой удельной прочностью или лёгкий сплав (интерметаллид).
2. Оптимизация конструкции, с целью минимизации использования материалов без снижения требований к производительности.
3. Внедрение прогрессивных технологий сборки. Например, использование конструкционных клеев снизит вес соединений.

Как правило, наиболее существенно на снижение массы автомобиля, влияет замена стали на лёгкий сплав или на полимерные композиционные материалы. Применение таких материалов в первую очередь оправданно их сравнительно малым весом и отсутствием возможности подвергаться коррозии. Однако снижение экономической эффективности изготовления деталей и усложнение технологического процесса их производства за счёт необходимости создания сложных матриц, ограничивает возможность полноценной замены стальных деталей на детали из композиционных материалов [2]. Ещё одним препятствием на пути модернизации в сторону снижения массы стало то, что композиционные силовые элементы, армированные стекловолокном, выполняющие функцию поглощения основной энергии удара показали результат в 2 раза хуже, чем сталь. Однако масса композиционных материалов в различных типах автомобилей от модели к модели постоянно растёт [3].

Причиной тому является создание совершенных материалов, не уступающих в прочности стали. К таким материалам можно отнести:

- 1) Углепластик (карбон) превосходящий по прочности сталь в 12,5 раз;
- 2) Керамические композиты, имеющие в своей структуре металлическую или не металлическую волокнистую арматуру, они с лёгкостью способны заменить жаропрочные стали;
- 3) Интерметаллиды по своей структуре занимающие промежуточное место между металлами и керамикой, главной особенностью которых

является способность запоминания формы, что позволит значительно удешевить ремонт автомобиля после аварии [4].

Развивающаяся отрасль композиционных материалов активно модернизируется и включена практически во все отрасли промышленности.

Особое место эти материалы занимают в производстве деталей для автомобильной промышленности. Так, например, второе поколение Ford GT продемонстрировало одно из лучших соотношений массы к мощности за счёт использования в качестве материала для корпуса, углеродного волокна, что позволило снизить вес автомобиля на 12%; в августе 2018 года автомобильная компания Mercedes-Benz представила концепт электромобиля в линейке «EQ» – SilverArrow 01. Корпус и другие детали экстерьера представленного электромобиля выполнены из карбона, что существенно снижает общую массу авто [5]; в 2015 году компания BMW, воплотила в жизнь технологию производства кузова из композиционных материалов в седьмой серии, что, по сравнению с прошлыми поколениями этой серии, уменьшило вес всего кузова на 130 кг. Так же в 2013 году эта компания запустила в серийное производство свой первый электромобиль BMW i3. Для снижения веса, каркас кузова был изготовлен из углепластика. Он устанавливался на алюминиевую раму. Высокая жёсткость углепластикового кузова позволила исключить из конструкции центральную стойку [6]; завод «КамАЗ» в конструкции автомобилей, работающих на газовом топливе, использует баллон высокого давления, выполненный из углепластика. Одна машина имеет шесть таких баллонов, используемых в системе торможения. Применение углепластика, помимо снижения массы, решает проблему ржавления и значительно увеличивает срок службы детали [7].

Замене деталей из стали на композиты и интерметаллиды подверглись такие отрасли как, авиационная и ракетно-космическая промышленность, где используются такие их свойства, как высокая удельная прочность и стойкость к воздействию высоких температур, стойкость к вибрационным нагрузкам, малый удельный вес. Так, например, турбовентиляторный двигатель ПД-14 - первый двигатель российского производства, в котором нашли применение интерметаллидные титановые сплавы, в том числе у-сплавы. имеющие низкую плотность (3,94 кг/м³). Для рабочих лопаток турбины низкого давления это литейный сплав ВИТ-Х, разработанный совместно с ОАО «Авиадвигатель», а для корпусных деталей турбины и компрессора – деформируемый сплав ВТИ-4.

Применение интерметаллидных титановых сплавов позволяет повысить рабочую температуру деталей на 100-300°C по сравнению с деталями, изготовленными из традиционных жаропрочных титановых интерметаллидных сплавов повышенной жаростойкости, а также снизить массу деталей на 10-40% при замене никелевых сплавов.

Впервые в отечественной практике при производстве мотогондолы двигателя ПД-14 предусматривается широкое (60-70%) применение полимерных композиционных материалов нового поколения, которые позволяют существ-

венно снизить массу конструкции при сохранении требуемых упруго-прочностных характеристик [8].

Таким образом, сфера применения полимерных композиционных материалов не ограничивается автомобильной промышленностью и нахождение инновационных решений в одной отрасли, непосредственно приведёт к использованию этой инновации в другой, не менее важной отрасли.

В настоящее время при изготовлении кузова современного автомобиля активно применяются листовые заготовки переменной толщины, а именно сварные разнотолщинные листовые и листовые катаные переменной толщины заготовки. Основной целью применения такого вида заготовок является снижение массы автомобиля без потери прочностных свойств кузова, снижение стоимости автомобиля и возможность управления прочностными характеристиками узлов и кузова автомобиля в целом [9]. Так, например, в конструкции кузова автомобиля АсигаMDX модельного ряда 2013 года применена сварная листовая разнотолщинная заготовка для «боковины» автомобиля в области проема передней двери [10]. В условиях действующего производства автомобильного завода «ГАЗ» в исследовательских целях были успешно реализованы опытная сборка и испытания экспериментального кузова автомобиля ГАЗ 3110 «Волга» из 11-ти сварных разнотолщинных листовых заготовок [11].

В современном мире, при создании машины или конструкции, важно уменьшить массу и в тоже время, сохранить прочностные характеристики объекта. Касаясь автомобилестроения, это не только повысит динамику автомобиля, но и уменьшит расход топлива, что в свою очередь уменьшит выброс углекислого газа в атмосферу. Подводя итог вышесказанному, существует необходимость в более подробном изучении возможности применения композиционных материалов в автомобилестроении, а также оптимизации конструкции автомобиля и внедрения подобных технологий в отечественное машиностроение.

Список литературы

[1]. *Chao Li, Il Yong Kim*. Topology, size and shape optimization of an automotive cross car beam // Institution of mechanical engineers, 2014 Volume: 229 issue: 10, page(s): 1361-1378.

[2]. *Дермов А.Б., Рязанцев А.А.* Современные материалы в автомобильной промышленности // Поколение будущего: взгляд молодых ученых-2019. – 2019. №2. – С. 116-118.

[3]. *Кудрявцев С.М., Пачурин Г.В., Соловьев Д.В., Власов В.А.* Основы проектирования, производства и материалы кузова современного автомобиля: монография / Под ред. С.М. Кудрявцева. – Н. Новгород, 2010. – 236 с.

[4]. *Государева Н.С.* Новые материалы в автомобилестроении: [сайт]. URL: <http://aneks.spb.ru/srednee-spetcialnoe-obrazovanie/novye-materialy-v-avtomobilestroenii.html> (дата обращения: 24.10.2020).

[5]. Тимошков П.Н., Хрульков А.В., Язвенко Л.Н. Композиционные материалы в автомобильной промышленности (обзор) // Труды ВИАМ. – 2017. №6 (54). – С. 59-66.

[6]. *Tailor welded blank applications and manufacturing. A State-of-the-Art Survey* // The Auto/Steel Partnership Tailor Welded Blank Project Team. Town Center - Suite 320 Southfield, MI 48075-1123. June 2001.

[7]. Кичигина А.С. Пластмассовая эволюция // Нефтехимия РФ. – 2016. – №2. – С.1-4.

[8]. Каблов Е.Н. Инновационные разработки фгуп «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. – 2015. – №1 (34). – С. 3-33.

[9]. Малышев А.Н. Применение заготовок переменной толщины в современном листоштамповочном производстве // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. – 2020. – №5. – С. 161-164.

[10]. *Automotive steels. Design, metallurgy, processing and applications.* Radkahanta Rana, Shiv Brat Singht // Woodhead Publishing series in metals and surface engineering, Duxford, United Kingdom, 2017, – 415p.

[11]. Климичев С.Б., Железняков Д.Ю., Костылев А.В. и др. Разработка перспективных технологий штамповки листосварных разнотолщинных заготовок в ОАО «ГАЗ» // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2004. – №7. – С. 22-27.

Малышев Александр Николаевич – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 1m-kf.mgtu@inbox.ru

Яшкин Константин Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kostyayashkin@yandex.ru

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКОЙ

Использование комплексов лазерной резки для раскроя материалов сравнительно небольшой толщины (до 20 мм для стали) – одно из наиболее производительных и перспективных направлений, которое находит широкое практическое применение в таких отраслях, как электрическая промышленность, приборо-, судостроение и многих других. Также эффективным оказывается применение технологии лазерного раскроя в опытном производстве или на стадии освоения новой продукции, когда особенно важно сократить сроки освоения изделий.

Основными направлениями развития лазерной технологии являются повышение её эффективности и достижение высоких показателей качества реза [5]. Несмотря на большой объем работ, посвященных лазерному резанию, до сих пор не существует достаточно надежных методов прогнозирования результатов резки. Это объясняется не только сложностью процессов, протекающих во время резки, но и большим количеством факторов, несвязанных с режимами обработки, но значительно влияющих на конечный результат.

В связи с вышеуказанным актуальным представляется обзор факторов, влияющих на качество изготовления деталей методом лазерной резки.

Качество изготовления деталей методом лазерной резки определяют следующие показатели: точность, шероховатость, неперпендикулярность (клиновидность), протяженность зоны термического влияния, ширина реза, отставание линии реза, количество грата (наплывы на нижней кромке разрезаемого металла), радиус оплавления верхней кромки [3].

Данные показатели зависят главным образом от энергетических и оптических параметров установки, машинных параметров, режимов обработки и параметров заготовки.

К основным энергетическим параметрам лазера относятся:

- мощность лазера;
- плотность мощности.

К основным оптическим параметрам установки относятся:

- диаметр луча на выходе из резонатора лазера;
- расходимость лазерного пучка;
- степень поляризации излучения;
- модовый состав излучения;
- форма распределения плотности мощности по сечению пучка.

Машинные параметры определяются:

- погрешностью механических узлов;
- погрешностью системы управления;
- погрешностью электропривода;
- погрешностью оптической системы.

Режимы обработки включают в себя:

- скорость резки;
- вид газа;
- давление газа;
- положение фокуса;

К параметрам заготовки можно отнести:

- толщину заготовки;
- материал;
- геометрию заготовки;
- состояние поверхности заготовки.

Рассмотрим влияние вышеперечисленных параметров на точность и качество при обработке деталей лазерной резкой.

В зависимости от типа материала для достижения оптимального результата требуется разная мощность лазера. Мощность лазера является взаимосвязанной величиной со скоростью резки. В ряде случаев удобной величиной, характеризующей качество процесса, оказывается комплексный параметр, представляющий собой отношение мощности излучения к скорости резки P/v_p или же P/h (где h – глубина прорезания металла).

Основные закономерности лазерной резки качественно описываются теорией Свифта – Хука – Джика. Так, при высокой эффективности лазерной резки эта теория дает простое соотношение для баланса энергии:

$$h v_p b (c_p T_{пл} + L_{пл}) = \eta P,$$

где P – суммарная мощность лазерного излучения, η – эффективность процесса, $L_{пл}$ – удельная энергия плавления металла.

Если принять, что при лазерной резке ширина реза равна диаметру лазерного луча, то из формулы следует, что v_p прямопропорциональна P при $h = \text{const}$ [3].

Важным фактором, определяющим как характер протекания процесса резки металлов, так и размерные характеристики резов, является плотность мощности в зоне воздействия лазерного излучения на материал. Этот параметр является комплексной величиной и зависит не только от мощности лазерного излучения, но и от условий его фокусирования, модового состава луча, его расходимости, диаметра пучка на выходе из резонатора и других факторов.

Оптические параметры установки и фокусирующей системы во многом взаимосвязаны, так как ими определяется диаметр пятна фокусировки, в свою очередь определяющий совместно с мощностью плотность мощности лазерного излучения. При выборе систем фокусировки необходимо решить проблемы, связанные с модовой структурой и геометрией сфокусированного пучка, выбором фокусирующей линзы и локализацией фокуса пучка относительно поверхности обрабатываемого материала.

Модовая структура определяется подбором формы пучка, зависящей от типа лазера, схемы резонатора, режима накачки, использования внутриврез-

наторных диафрагм. Пятно минимальных размеров с диаметром порядка длины волны можно получить при фокусировке пучков, в которых распределение плотности мощности по сечению подчиняется закону Гаусса.

Фокусное положение луча лазера также в существенной мере воздействует на процесс резки. Необходимо установить оптимальное для каждого конкретного процесса обработки фокусное расстояние, так как оно влияет на форму образующегося разреза и налипание окалина.

Также требуется определить фокусирующую линзу, подходящую для выполнения поставленной задачи, так как диаметр пятна и глубина фокусировки зависят от фокусного расстояния линзы. Для сокращения разницы между шириной реза сверху и снизу (уклона) необходимо минимизировать диаметр пятна. Уменьшение фокусного расстояния линзы приводит к уменьшению уклона при резке тонких листов.

Значительное влияние на точность обработки оказывают параметры заготовки, такие как толщина и марка материала, состояние его поверхности, геометрия контура.

Блестящие поверхности материалов, как, например, у чистого алюминия, ведут к сильному отражению лазерного луча и плохим результатам резки. Слой окалина, лакокрасочные и пластмассовые покрытия на поверхности листа также ухудшает результаты резки. Шероховатые и матовые поверхности обеспечивают высокую скорость резания. Тонкий масляный слой, часто имеющийся на листах, часто улучшает качество резки.

Некоторые конструктивные элементы деталей (тонкие перемычки, острые углы, небольшие отверстия и др.) вызывают при лазерной резке ряд сложностей. Их необходимо обрабатывать с уменьшением мощности и скорости резания, а также частоты следования импульсов.

При обработке острых и прямых углов добавляются «петли» (рис.1) или небольшие радиусы скругления (0,1 – 0,2 мм). Если деталь насыщена конструктивными элементами, для отведения тепла применяют технологические остановы. Особое внимание уделяется последовательности обработки элементов: для лучшего теплоотвода в первую очередь следует обрабатывать элементы меньшего размера, затем большего. Чтобы предотвратить столкновение режущей головки с приподнявшейся после вырезки деталью используют технологические «перемычки».

Помимо перечисленных параметров на точность и качество поверхности деталей после лазерного раскроя оказывает влияние наличие вибраций заготовки в процессе резания. Это особенно актуально для тонколистовых материалов (толщиной до 1 мм). Поэтому, если требуется изготовление деталей с высокими требованиями по точности (10 – 12 квалитет), необходима дополнительная технологическая оснастка для закрепления заготовки в процессе её обработки.

Исходя из вышесказанного видно, что лазерная резка сложный процесс, на который влияет большое количество факторов. Поэтому только тщатель-

ная проработка и корректный сбор всех параметров процесса позволяют получать детали требуемого качества с оптимальной производительностью.

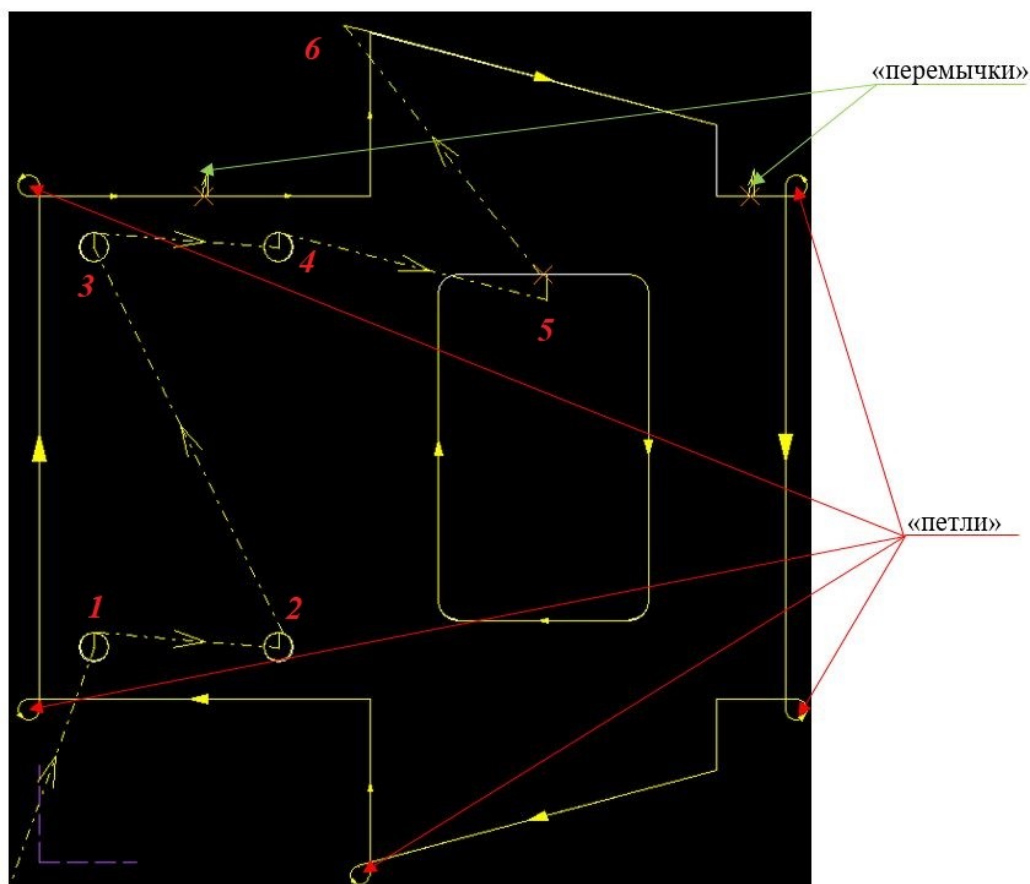


Рис.1. Технологические элементы при лазерной резке детали (цифрами указана последовательность резки элементов детали)

Список литературы

[1] *Ананин В.Н., Катаев Ю.П.* Зависимость качества и производительности лазерной резки от технологических параметров процесса. Вестник КГТУ им. Туполева, 2008. - №2 – С. 19-21

[2] *Закалюкина Л.А., Баннов В.Я.* Виды и параметры процесса лазерной резки // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. –С. 163.

[3] *Лазерная резка металлов: Учеб. пособие для вузов/ А.Г. Григорьянц, А. А. Соколов; Под ред. А. Г. Григорьянца.* – М.: Высш. шк., 1988, – 127 с.

[4] *Григорьянц А.Г.* Технологические процессы лазерной обработки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 45 с.

[5] *Минаев И.В., Сергеев Н.Н., Тихонова И.В. и др.* Влияние параметров лазерной резки на качество поверхности реза стальных листов. // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2014. – Вып. 3. –С. 50-57.

[6] *Яхонтов Ю.Г., Иванова Л.А.* Оператор лазерной установки. Введение в профессию. – СПб.: Изд-во Петровский колледж, 2013. – С.10.

Юдаева Анастасия Алексеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: anast.yudaeva@yandex.ru

Журавлева Татьяна Александровна – канд. техн. наук, доцент КФ
МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 1m-kf.mgtu@inbox.ru

ВЛИЯНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА ТЕХНИЧЕСКУЮ НОРМУ ВРЕМЕНИ

Для улучшения рентабельности производства на предприятии необходимо научиться правильно использовать материальные ресурсы. Это поможет стать предприятию более конкурентоспособным на рынке и вследствие получать ощутимую прибыль. На любом машиностроительном предприятии в качестве исходного объекта являются заготовки, которые в последствии обрабатываются и вследствие получается требуемое заказчиком изделие, которое может в дальнейшем применяться, как при сборке определенной продукции, так и как готовое к продаже изделие.

На предприятиях наиболее распространенным типом производства является «Серийное производство», которое характеризуется ограниченной номенклатурой изготавливаемых изделий, выпускаемые повторяющимися партиями и большим объемом от 500 до 5000 изделий. Чтобы увеличить прибыль предприятия необходимо повысить эффективность производства и сократить время на обработку заготовок и переналадку оснастки, для этого нужно использовать новые технологии во всех стадиях производства начиная от заготовительной стадии до процесса сборки изделия.

Для увеличения прибыли предприятия самым эффективным способом будет сократить технологическое время производства продукции. Это можно достичь использования автоматических систем управления производством (АСУП) или сокращением вспомогательного времени, так как сокращение основного времени не всегда ведет к увеличению качества продукции и влечет за собой использование более дорогих инструментов и высокоточного оборудования.

Техническая норма времени на выполнение операции складывается из подготовительно-заключительного времени на партию деталей и штучного времени на изготовление одной детали [4].

Штучное время $T_{шт}$ состоит из основного (технологического) времени, вспомогательного времени, времени технического обслуживания рабочего места, времени организационного обслуживания рабочего места, времени перерывов на отдых и личные надобности [2].

Значительную часть от штучного времени занимает вспомогательное время, в которое состоит из времени, потраченного на установку и снятие детали, на холостые ходы оборудования, на смену инструмента и на контролирование технологических параметров.

Анализ, проведенный на предприятии «ЦНИИТМАШ» показывает, что вспомогательное время составляет: на расточных станках до 48%; на карусельных 40%; на токарных 30–35%; на продольно-строгальных 23%. Сократить вспомогательное время можно путем использования универсальных приспособлений с механизированным зажимом деталей, облегчения установки и

снятия режущего инструмента, упрощения измерений и управления станком, совмещение времени установки-снятия со временем обработки. На обрабатываемых центрах этот способ реализуют путем использования столов-спутников. Когда на одном столе-спутнике ведется обработка, на другом столе-спутнике оператор выполняет установку-снятие заготовки. Рассматриваемая доля вспомогательного времени сокращается практически до времени смены столов-спутников, а также повышения технологичности обрабатываемых деталей [3].

Сокращение вспомогательного времени путем изменения оснастки с ручной на механизированную позволит сократить время на снятие и установку детали, а если использовать приспособление, которое способно к быстрой переналадке его на новое изделие, то это увеличит гибкость производства и снизит простой оборудования. Так же можно совмещать обработку нескольких деталей, используя многопозиционные приспособления, например, приспособление «спутник». Использование методов бережливого производства, с помощью которых можно разбить вспомогательное время на части и переместить некоторые вспомогательные операции в основное время обработки. Поэтому на данный момент является актуальна разработка быстро переналаживаемого оборудования и методов сокращения вспомогательных операций.

Список литературы

[1] *Мальцев М.В.* Автоматизация заготовительного производства [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-zagotovitel'nogo-proizvodstva/viewer>. (дата обращения 28.10.2020)

[2] *Анищенко С.С.* РАСЧЕТ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЧЕРЕЗ СТАНКО-ЧАС / С. С. Анищенко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – №4 (35) Часть 1. – С. 34-36. – URL: <https://research-journal.org/technical/racchettrudoemkosti>. (дата обращения: 30.10.2020)

[3] *Шодиев З.О.* Нормирование технологических операций изготовления детали / З.О. Шодиев, Х.Х. Хамроев, А.З. Шодиев. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2017. – № 12 (146). – С. 97-99. – URL: <https://moluch.ru/archive/146/40824>. (дата обращения: 30.10.2020)

[4] *Хамроев Х.Х.* Понятия технической нормы в машиностроении / Х.Х. Хамроев, Э.И. Кулдошев, Дилнора Авазова, С.И. Наботов. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 3 (107). – С. 221-223. – URL: <https://moluch.ru/archive/107/25666>. (дата обращения: 31.10.2020).

[5] *Петрова Е.В.* Повышение качества технологической подготовки производства швейных изделий путем экспресс-расчета норм времени на операции раскройного цеха / Е.В. Петрова, Н.С. Мокеева. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2009. – № 10 (10). – С. 71-75. – URL: <https://moluch.ru/archive/10/750>. (дата обращения: 1.11.2020)

Насевич Илья Русланович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: nasevich98@mail.ru

Вяткин Андрей Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент.
E-mail: and-vyatkin@mail.ru

СЕКЦИЯ 2.

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ВЛИЯНИЕ ПОДГОТОВКИ КРОМОК НА КАЧЕСТВО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО СПОСОБОМ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Развитие различных отраслей машиностроения предъявляет все более жесткие требования к надежности и прочности сварных соединений. При этом возникает потребность использования в сварных конструкциях материалов, разработанных на основе комплексных систем легирования и получаемых с помощью новых технологий. Такие материалы, обладая необходимым комплексом физико-механических характеристик, зачастую имеют низкую свариваемость в условиях традиционных методов сварки плавлением. Поэтому повышенный интерес для их соединения представляют методы сварки давлением, при использовании которых формирование шва происходит без образования жидкой сварочной ванны. Из группы методов сварки давлением для целей формирования соединений материалов с низкой свариваемостью при сварке плавлением, интерес представляет метод сварки трением с перемешиванием (СТП), при котором соединение свариваемых элементов осуществляется за счет локализации теплоты и пластической деформации в зоне формирования шва [1].

Этот метод в настоящее время постепенно занимает одно из ведущих мест для соединения деталей из алюминиевых сплавов при изготовлении летательных аппаратов, объектов космической техники и коммерческого транспорта, железнодорожных вагонов и судов. Сварные швы алюминиевых сплавов, полученные сваркой трением с перемешиванием, как правило, отличаются высоким качеством, отсутствием дефектов, мелкозернистой структурой. Благодаря формированию деформированной мелкокристаллической структуры швов и меньшему нагреву металла в зоне сварки степень разупрочнения соединений алюминиевых сплавов ниже, а предел прочности выше, чем при их сварке плавлением. Зачастую предел прочности на растяжение сварных соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием при оптимальных параметрах режима, составляет до 95% от прочности основного металла или даже соответствует прочности основного металла.

В настоящее время способ находит широкое применение при сварке алюминиевых сплавов малой толщины (до 5 мм) таких марок, как АМг5, АМг6, АД31, АМцН, 1420, 1201 и 1460 и других [2].

В большинстве случаев СТП используется для получения стыковых сварных соединений, т.к. в этом случае наиболее легко реализовать данную технологию.

На рис.1 изображен процесс сварки трением с перемешиванием листов из алюминиевого сплава АМг5М толщиной 5 мм с получением стыкового сварного соединения. Пин инструмента выполнен в виде конической поверхности с углом наклона образующей конуса к оси инструмента 10° .

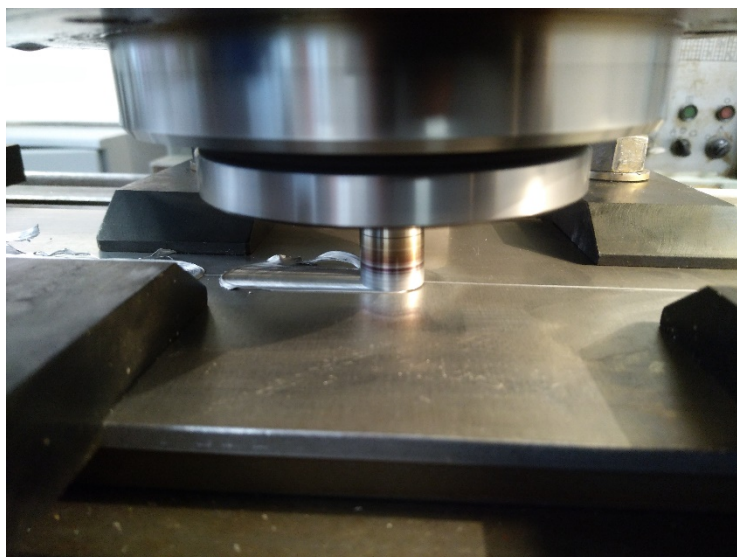


Рис. 1. Процесс сварки трением с перемешиванием

На получение качественного сварного шва при сварке трением с перемешиванием влияют различные технологические факторы. К таким факторам можно отнести конфигурацию инструмента, параметры режима сварки: скорость вращения инструмента, скорость сварки, угол наклона инструмента в направлении сварки относительно вертикальной оси, глубина внедрения инструмента в деталь, усилие, действующее на инструмент; качество сборки под сварку, а также качество подготовки свариваемых кромок. Анализ научных работ в области СТП показывает, что влияние последнего фактора изучено недостаточно.

Подготовка свариваемых кромок напрямую влияет на количество оксидных плёнок на поверхности металла. В зависимости от метода подготовки структура и толщина оксидных пленок на поверхностях соединяемых деталей могут сильно отличаться. В процессе сварки эти оксидные включения, как правило, располагаются вдоль сварного соединения, негативно влияя на прочностные свойства. Причем эти включения обычно располагаются непрерывной цепочкой, а не отдельно друг от друга [3].

На рис.2 представлена фотография макрошлифа стыкового сварного соединения, полученного сваркой трением с перемешиванием листов из алюминиевого сплава АМг5 толщиной 5 мм. Перед сваркой подготовка кромок свариваемых листов не выполнялась, т.е. листы были в состоянии поставки после обработки кромок пламенной резкой.

На последнем рисунке можно наблюдать распределение оксидных включений в области сварного шва, что обуславливается направлением перемещения потоков пластифицированного металла в процессе СТП.

Для уменьшения количества оксидных плёнок на поверхностях свариваемых деталей применяют методы механической обработки поверхностей, такие как зачистка металлической щеткой, шлифование, полирование и другие, а также методы химической обработки.



Рис. 2. Оксидные включения в сварном шве

Таким образом, необходимо особое внимание при СТП уделять вопросу, связанному с подготовкой кромок поверхностей соединяемых деталей, прежде всего, если необходимо получить сварные соединения с высокими прочностными показателями.

Список литературы

[1]. Черных И.К., Кривонос Е.В., Матушко Е.Н., Васильев Е.В. Исследование процесса сварки трением с перемешиванием пластин из алюминиевого сплава АМг6 // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической техники и подготовки инженерных кадров для авиакосмической отрасли: Материалы XI Всероссийской научной конференции, посвященной памяти главного конструктора ПО «Полёт» А.С. Клинышкова. –2017. – С.126-134.

[2]. Покляцкий А.Г. Параметры процесса сварки трением с перемешиванием тонколистовых алюминиевых сплавов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2015. –№ 11. – С.53-58.

[3]. Овчинников В.В., Андреева Л.П., Любимова Т.Д. Оксидные включения в швах алюминиевых сплавов, полученных методом сварки трением с перемешиванием // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2017. – № 6 (72). – С.3-13.

Ботников Вячеслав Евгеньевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: newstalker0@yandex.ru

Зыбин Игорь Николаевич – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: igor.zybin@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ЗОНЕ СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

В настоящее время сварка трением с перемешиванием является наиболее перспективным способом сварки металлов. Способ находит все более широкое применение в различных отраслях машиностроения, это связано с высокими прочностными показателями соединения, получаемого сваркой трением с перемешиванием. Прочность сварного соединения на статическое растяжение сопоставимо с прочностью основного металла и составляет обычно 90...95 % от прочности основного металла. В результате того, что сварное соединение формируется без расплавления соединяемых металлов, то данный способ характеризуется отсутствием дефектов характерных для дуговых способов сварки. Тем не менее, способ еще недостаточно изучен в нашей стране. Это связано с особенностями формирования сварного соединения, в том числе распределения температур в зоне контакта металлов при сварке трением с перемешиванием.

Наиболее достоверным способом определения распределения температуры при СТП является экспериментальные исследования (обычно используются термопары), но для их проведения требуются большие затраты. Также невозможно установить термопары в зоне контакта инструмента и соединяемых деталей. Поэтому актуальным является исследование распределения температурных полей в зоне соединения металлов с использованием численных методов.

Схема процесса сварки трением с перемешиванием представлена на рис.1 [4].

Сварка выполняется следующим образом: на начальной стадии процесса вращающийся пин инструмента постепенно заглубляется встык соединяемых металлов, происходит незначительное выделение тепла за счет трения. При дальнейшем погружении инструмента возникает контакт между торцевой поверхностью его заплечика и свариваемым материалом, температура свариваемого металла в этот момент начинает резко повышаться. Это происходит до проникновения заплечика в свариваемый металл на глубину около 0,1...0,3 мм, Внутри зоны контакта металлов пластифицированный металл, находясь под высоким давлением, перемещается по кругу вращающимся инструментом и образует точечный сварной шов. Помимо вращательного движения инструмента ему придают поступательное перемещение вдоль стыка. Это позволяет получить линейный сварной шов. При этом впереди инструмента со стороны набегания появляется зона избыточного давления, из которой рабочие поверхности инструмента вытесняют препятствующий их движению и нагретый до пластического состояния металл. Благодаря поступательно-вращательному движению инструмента, нагретый металл, постоянно перемещается в зону, ос-

вобождаемую позади него. В результате этого температура металла в зоне формирования неразъёмного соединения всегда со стороны отхода инструмента на 10...15 °С выше, чем со стороны его набегания.

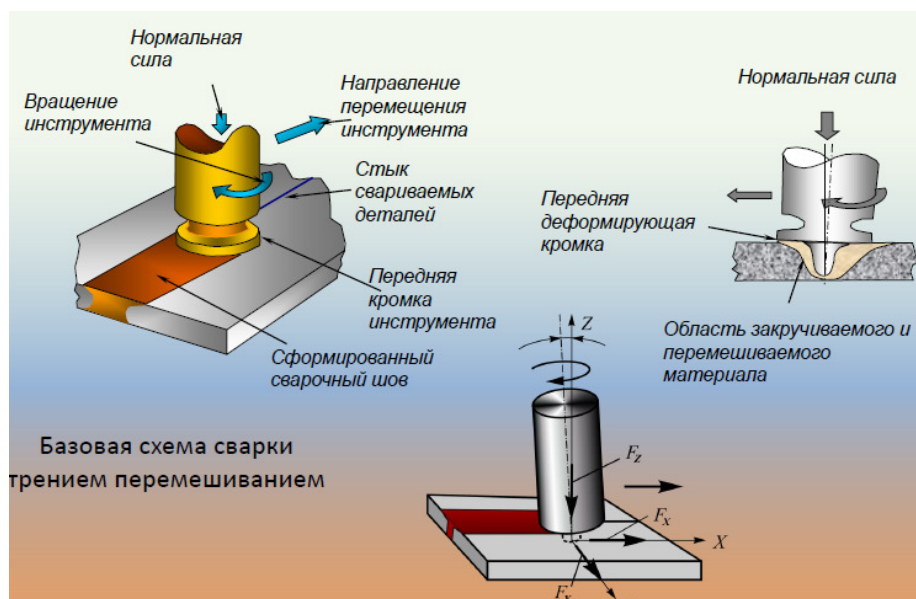


Рис.1 Схема процесса сварки трением с перемешиванием: F_x , F_y , F_z —усилия, действующие инструмент вдоль осей x , y , z соответственно

Нагрев свариваемого материала до максимальных температур происходит вокруг пина инструмента у его основания в зоне примыкания к рабочей поверхности заплечика. Однако при сварке тонколистовых материалов пин инструмента очень короткий, поэтому значительное количество тепла, выделяемое вследствие трения, распространяется в подложку, на которой формируется неразъёмное сварное соединение.

При расчете температурных полей при сварке трением с перемешиванием обычно используют схему движущегося точечного источника в предельном состоянии. При применении такой схемы температуру в зоне соединения металлов рассчитывают как сумму температур от действия совокупности элементарных (точечных) источников нагрева:

$$T = \frac{q}{2\pi\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \exp\left(-\frac{vx_i}{2a} - \frac{vR_i}{2a}\right),$$

где T – температура, q – мощность источника нагрева, λ – коэффициент теплопроводности, x – координата вдоль шва, a – коэффициент температуропроводности, R – радиус относительно оси вращения инструмента, v – скорость сварки, n – количество элементарных источников по одному направлению.

Индекс i относится к расстоянию от i -го источника до рассматриваемой точки.

Отметим, что распределение температур зависит, прежде всего, от режимов сварки и вида инструмента (его формы и материала). Моделирование температурных полей в зоне соединения металлов выполняется в различных программных пакетах, таких как: Abaqus, Ansys, Sysweld и т.д. Такое моде-

лирование позволяет учитывать форму и материал инструмента, величину за-
глубления заплечика инструмента в свариваемые детали, материал детали и
подложки и подбирать режимы сварки, обеспечивающие необходимую тем-
пературу в зоне соединения металлов.

Список литературы

[1]. *Станценко В.Н., Негода Е.Н., Сухорада А.Е.* Исследование тепло-
вложения и температурных полей при сварке трением с перемешиванием//
Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2017. – №3(32). – С.150-154.

[2]. *Покляцкий А.Г.* Особенности распределения температур в тонколи-
стовом алюминиевом сплаве АМг5М при сварке трением с перемешивани-
ем//Автоматическая сварка. – 2011. – №8. – С.48-51.

[3]. *Бахматов П.В., Мелкоступов К.А., Дебеляк А.А.* Сварка трение с пе-
ремешиванием высокопрочных алюминиевых сплавов// Современные техни-
ка и технологии. – Комсомольский-на-Амуре государственный технический
университет. – 2009. – С.15-16.

[4]. <https://welding-territory.ru>

Медведев Дмитрий Михайлович – студент МК2-11М, магистрант КФ
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: medvedev_2@bk.ru

Зыбин Игорь Николаевич – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им.
Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: igor.zybin@mail.ru

СЕКЦИЯ 3.

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КАРКАСНЫХ ПСЕВДОСПЛАВОВ СОСТАВА ВОЛЬФРАМ-МЕДЬ И ПЕРСПЕКТИВ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

При изготовлении каркасных псевдосплавов состава вольфрам-медь возникает проблема достижения в процессе производства заранее заданных параметров и их повторяемость. Для решения данной задачи металлургические компании применяют несколько известных методов, а также их модификации. Выбор того или иного способа производства зависит от наличия соответствующего технологического оборудования, области применения псевдосплавов состава вольфрам-медь и других факторов.

Каркасные псевдосплавы состава вольфрам-медь представляют собой композиционные материалы, состоящие из двух компонентов, у которых отсутствует взаимная растворимость и при этом в спеченной тугоплавкой (вольфрам) пористой основе (каркасе) распределена более легкоплавкая фаза (медь). Такие материалы применяются для изготовления: электродов для контактной сварки и электроэрозионной обработки, электроконтактов для силовой электроники, корпусов и теплоотводов ПП-, РЧ-, СВЧ-, оптоэлектронных и лазерных устройств.

Существует несколько основных способов производства каркасных псевдосплавов: высокотемпературное жидкофазное спекание, активированное жидкофазное спекание и жидкофазная инфильтрация [1-3].

Высокотемпературное жидкофазное спекание (ВЖС). Этот способ предполагает применение высокотемпературных печей т.к. вольфрам спекается при температурах свыше 2273К (2000°C) [4]. При этом медь как более легкоплавкий компонент переходит в жидкую фазу и находится в ней до завершения процесса спекания. Образование каркасной пористой структуры происходит в результате стягивания тугоплавких частиц под действием сил поверхностного натяжения, которые возникают при перераспределении жидкой фазы в спекаемом объеме. Необходимо отметить, что важным условием жидкофазного спекания является как можно полное смачивание тугоплавких частиц жидкой фазой, т.к. в этом случае достигается лучшее перераспределение жидкой фазы, и процесс спекания завершается быстрее, чем при не полном смачивании. Полному смачиванию соответствует величина краевого угла смачивания $\theta = 0$ [2, 3]. Для вольфрама полное смачивание медью происходит при температурах выше 1623К (1350°C) [3].

Практика применения метода ВЖС показала, что при содержании жидкой фазы более 15масс.% происходит значительная усадка размеров заготовки, её деформация и образование внутри нее незаполненных пор [3]. Это происходит по той причине, что температура спекания порядка 2273К (2000°C) приводит к образованию вольфрам-медной эвтектики, из-за которой возникают структурные неоднородности (дефекты) и в итоге снижается гер-

метичность и теплопроводность композитов состава вольфрам-медь, что делает невозможным получение беспористых (вакуумноплотных) материалов с содержанием меди более 15масс.%.

К недостаткам ВЖС следует отнести необходимость применения высокотемпературных печей способных достигать температур близких к 2273К (2000°C), а также неизбежное и непредсказуемое возникновение медных наплывов, удаление которых усложняет механическую обработку поверхностей деталей и приводит к повышенному образованию медных отходов.

Преимуществом данного метода является простота реализации и возможность применения серийно выпускаемого оборудования.

Известно [5], что модификация исходной смеси наноразмерными порошками вольфрама и меди позволяет снизить температуру спекания до 1473К (1200°C) (для материала с содержанием меди 15масс.%). В результате его наибольшая относительная плотность составила 84%, что не может считаться приемлемым результатом.

Активированное жидкофазное спекание (АЖС). Метод основан на способности некоторых элементов, которые называют активаторами, таких как никель, кобальт, железо и других, снижать температуру спекания. Действие активаторов заключается в их способности частично или полностью растворяться как в тугоплавкой, так и в легкоплавкой фазах. При этом на поверхности тугоплавких частиц образуется переходный слой с растворенным активатором, который спекается при более низких температурах, чем чистые вольфрам или молибден. Например, добавление никеля в качестве активатора при изготовлении композиционных материалов на основе вольфрама или молибдена позволяет снизить температуру спекания до значений от 1473 до 1573К (от 1200 до 1300°C) [3]. Так же, как и при ВЖС структура тугоплавкого каркаса формируется за счет сближения частиц между собой силами капиллярного стягивания.

Действие активатора может распространяться также и на легкоплавкую фазу. При взаимодействии никеля с медью образуется эвтектический сплав, который вызывает образование большего количества закрытых пор, чем при ВЖС. При этом важно отметить негативное действие активаторов на некоторые свойства исходных материалов и полученных в результате псевдосплавов. Например, никель значительно снижает теплопроводность вольфрама и меди, как по отдельности (1% никеля снижает теплопроводность меди на 35% до 250Вт/м·К [6]), так и в составе полученных композиционных материалов.

При АЖС происходит увеличение количества эвтектики, что является причиной повышенного по сравнению с ВЖС образования закрытых микропор, а применение, например, никеля снижает в итоге общую теплопроводность получаемых материалов.

Таким образом, единственное преимущество АЖС – это возможность проводить спекание при температурах от 1473 до 1573К (от 1200 до 1300°C). Данный метод нашел применение при изготовлении вольфрамовых псевдо-

сплавов с содержанием меди менее 5 масс.%, где влияние переходных эвтектических сплавов на структуру композиционных материалов менее заметно.

В то же время ведутся работы по дальнейшему совершенствованию метода АЖС. Так применение частиц вольфрама, заранее покрытых медью [7], для материалов с содержанием меди 10масс.%, 25масс.% и 40масс.% в присутствии 1масс.% никеля или кобальта позволило получить плотность, близкой к теоретической. Использование 2% цинка в качестве активатора позволило снизить температуру спекания до 1123К (850°C) [8] при этом относительная плотность составила 97,9%, что не является достаточным.

Жидкофазная инфильтрация (ЖИ). Особенностью метода ЖИ является раздельные процессы спекания тугоплавкого пористого каркаса и его последующая инфильтрация медью в отличие от ВЖС и АЖС, где формирование вольфрамового каркаса и его заполнение медью происходит одновременно.

Применение активаторов позволяет снизить температуру спекания до тех же значений, что и при АЖС, но без образования нежелательных эвтектических сплавов, т.к. процесс спекания происходит без присутствия легкоплавкой фазы. Действие активаторов спекания при ЖИ так же, как и при АЖС приводит к снижению теплопроводности полученных псевдосплавов, но поскольку активирующее действие, например, никеля проявляется уже при концентрациях от 0,01% [3], то его влияние на теплопроводность не так значительно.

В процессе подготовки исходной смеси в нее кроме тугоплавких частиц добавляют активатор и заранее рассчитанное количество связующего вещества (пластификатора). Пластификатор необходим в качестве временной замещающей фазы для контроля порообразования, т.к. при его отсутствии полученные поры будут преимущественно закрытыми, и инфильтрация станет невозможной. Непосредственно перед процессом спекания пластификатор выжигается и затем происходит формирование пористой структуры тугоплавкого каркаса. В качестве пластификатора часто применяют: воск, каучук, стеариновую кислоту и другие.

Инфильтрацию полученного вольфрамового каркаса проводят медью, который приводят в контакт с каркасом и его заполнение происходит под действием капиллярных сил. Инфильтрация вольфрамовых и молибденовых каркасов медью возможна при температурах от 1523 до 1623К (от 1250 до 1350°C) т.е., когда наблюдается полное смачивание [3].

Метод ЖИ позволяет получать вольфрам-медные псевдосплавы с содержанием меди от 10 до 30 масс.% и относительной плотностью около 99% от теоретической. Этому способствует то, что большинство пор вольфрамового или молибденового каркаса являются открытыми и могут быть заполнены медью.

Существенным недостатком этого метода является образование медных наплывов не контролируемой формы и размеров. Это затрудняет механиче-

скую обработку и приводит к увеличению количества медных отходов после нее, как и при ВЖС.

В настоящее время метод ЖИ является основным способом изготовления псевдосплавов вольфрам-медь и его продолжают развивать.

Для уменьшения избытков меди применяют способ [9], в котором медь для инфильтрации берут с избытком около 5%. Затем с поверхностей полученных заготовок стравливают лишнюю медь с помощью распыления раствора хлорида железа под давлением и при температурах от 313 до 323К (от 40 до 50°C). Химическое травление для удаления медных избытков снижает количество последующих операций механической обработки, но повышает вредность производства, что является недостатком этого способа. Применение синего оксида вольфрама (blue tungsten oxide) в качестве активатора позволяет снизить температуру спекания до 1573К (1300°C) и получать псевдосплавы с содержанием меди более 20 масс.%, относительной плотностью более 99% и теплопроводностью 231Вт/м·К, что является приемлемым результатом [10]. Перспективным методом изготовления псевдосплавов состава вольфрам-медь является импульсное плазменное спекание [11]. Данный метод позволяет снизить температуру спекания до 1473К (1200°C) без применения активаторов, а также сократить время спекания менее чем до 20 минут. Значение относительной плотности образцов, полученных с помощью импульсного плазменного спекания составляет около 98% от теоретической. К недостатку этого способа следует отнести необходимость применения ультрадисперсных исходных вольфрамовых порошков постоянного гранулометрического состава.

Как видно из проведенного анализа всем известным методам производства псевдосплавов состава вольфрам-медь присущи недостатки и общими для них являются: образование избытка меди на поверхностях полученных заготовок, а также снижение теплопроводности в случае применения активаторов спекания. Приемлемые результаты могут быть получены с помощью импульсного плазменного спекания, но эта технология еще не является промышленной и требует доработки.

Список литературы

[1]. *Тучинский Л.И.* Композиционные материалы, получаемые методом пропитки. – М.: Металлургия, 1986. – 208 с.

[2]. *Кипарисов С.С., Либенсон Г.А.* Порошковая металлургия: Учебник для техникумов. 3-е изд. – М.: Металлургия, 1991. – 423 с.

[3]. *Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В.* Процессы порошковой металлургии. Т. 2: Формование и спекание: учебник для вузов. – М.: «МИСИС», 2002. – 320 с.

[4]. *Jiang G., Diao L., Kuang K.* Advanced Thermal Management Materials. – New York: Springer Science & Business Media, 2012. – 156 p.

[5]. *Dehghnian C., Takestani M.* A comparison of 85%w-15%cu composites synthesized by nano and micro powders. 2nd International Conference on Ultrafine

Grained & Nanostructured Materials (UFGNSM) International Journal of Modern Physics: Conference Series, 2012, vol. 5, pp. 574–580.

[6]. *Осинцев О.Е., Федоров В.Н.* Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: Справочник. – М. Машиностроение, 2004. – 336 с.

[7]. *Upadhyaya A., Ghosh C.* Effect of coating and activators on sintering of W-Cu alloys // Powder Metallurgy Progress, 2002, vol. 2, no. 2, pp. 98–110.

[8]. *Chen P., Luo G., Li M., Shen Q., Zhang L.* Effects of Zn additions on the solid-state sintering of W–Cu composites. Materials and Design, 2012, vol. 36, pp. 108–112.

[9]. *Zhu D., Wu H., Yuan Y., Kuang K.* Process for making copper tungsten and copper molybdenum composite electronic packaging materials. Pat. 2010092327U.S., 15.04.2010, 4 p.

[10]. *Wang C.P., Lin L.C., Xu L.S., Xu W.W., Song J.P., Liu X.J., Yu Y.* Effect of blue tungsten oxide on skeleton sintering and infiltration of W–Cu composites. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2013, vol. 41, pp. 236–240.

[11]. *Rosinski M., Fortuna E., Michalski A., Pakiela Z., Kurzydowski K.J.* W/Cu composites produced by pulse plasma sintering technique (PPS). Fusion Engineering and Design, 2007, vol. 82, pp. 2621–2626.

Инюхин Михаил Валерьевич – инженер-технолог АО «Биметалл».
E-mail: michael1@kaluga.ru

Шаталов Валерий Константинович – заведующий кафедрой «Материаловедение и химия», д-р физ.-мат. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
e-mail: vkshatalov@yandex.ru

МЕТОД ПРЯМОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО СИНТЕЗАТОРА

В современных системах радиосвязи и радиолокации, а также в задачах цифровой обработки сигналов всё чаще применяются генераторы гармонического сигнала, основанные на методе прямого цифрового синтеза (direct digital synthesizer, DDS). DDS генераторы широко применяются для амплитудной (ASK), фазовой (PSK) и квадратурной модуляции сигнала (QAM), а также для преобразования сигнала вверх или вниз в радиопередатчиках и радиоприемниках [1].

Метод прямого цифрового синтеза позволяет получить гармонический сигнал за счёт генерации временной последовательности цифровых отсчётов. Частота выходного сигнала определяется двумя параметрами: частотой тактового сигнала DDS генератора и двоичным числом, записанным в регистр частоты. Это двоичное число, записанное в регистр частоты, подается на вход аккумулятора фазы и используется для установки шага цифровых отсчётов. В зависимости от назначения DDS генератора, на его выходе может присутствовать блок ЦАП, для получения аналогового сигнала (рис. 1).

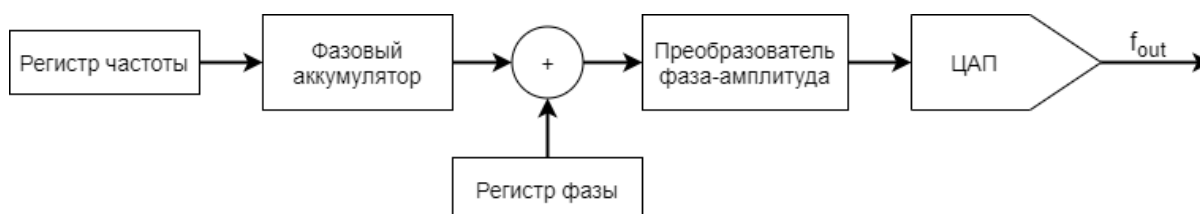


Рис. 1. Схема DDS генератора с ЦАП

В данной работе рассматриваются вопросы реализации блока преобразователя фаза-амплитуда. В большинстве реализаций DDS генераторов, для реализации данного блока используется блок памяти, содержащий значения отсчётов функций синуса или косинуса. В качестве адреса в блоке памяти используется сигнал с фазового аккумулятора. Недостатком данной схемы является большой объём памяти, необходимый для хранения значений гармонического сигнала. Размер блока памяти прямо пропорционален разрядности генерируемого сигнала и адреса. При росте объёма памяти снижается её быстродействие, возрастают энергопотребление и занимаемая на кристалле площадь. Для использования DDS-генератора в квадратурной модуляции, также необходимо обеспечить хранение дополнительных значений гармонического сигнала, сдвинутого по фазе на 90 градусов.

В случаях, когда применение такой схемы невозможно из-за ограничений, накладываемых на быстродействие и энергопотребление схемы, а также в случаях невозможности использовать блоки памяти в микросхеме или при

необходимости генерации квадратурного выходного сигнала, применяются схемы с прямым вычислением гармонической функции из фазы.

Для реализации схемы с прямым вычислением гармонического сигнала из фазы, используется метод «цифра за цифрой» (COordinate Rotation DIgital Computer, CORDIC). Преимуществом использования данного метода, является квадратурный выход CORDIC-вычислителя – блок содержит выходы для синуса и косинуса, что наиболее полезно в приложениях, где необходим квадратурный сигнал. Схема DDS генератора с CORDIC блоком, представлена на рис. 2.

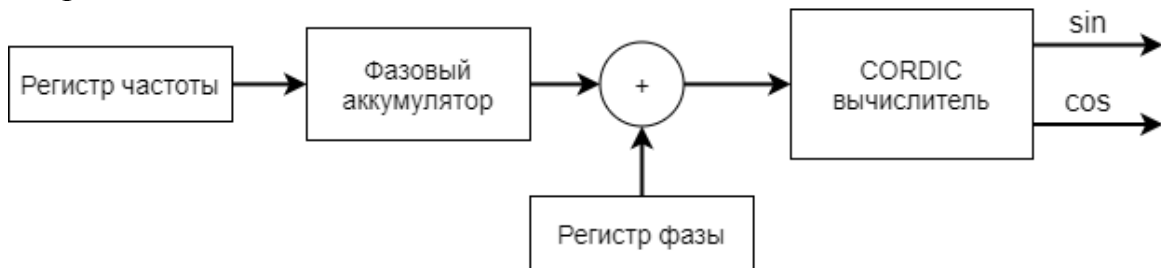


Рис. 2. Схема DDS генератора с CORDIC вычислителем для преобразования фаза-амплитуда

Данный CORDIC-вычислитель работает в режиме расчёта тригонометрических функций и его работу на каждой из итераций можно описать с помощью следующий уравнений [2]:

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= x_i - \sigma_i \cdot 2^{-i} \cdot y_i \\ y_{i+1} &= y_i + \sigma_i \cdot 2^{-i} \cdot x_i \\ z_{i+1} &= z_i - \sigma_i \cdot \alpha_i \end{aligned} \quad (1)$$

где $i = 0, 1, \dots, N - 1$ – номер итерации. В качестве начальных значений при $i=0$, используются следующие параметры:

$$x_0 = K, y_0 = 0, z_0 = \varphi,$$

где φ – текущее значение фазового аккумулятора; K - параметр определяющий амплитуду гармонических сигналов.

Значение σ_i определяет тип операции на каждой итерации алгоритма:

$$\sigma_i = \begin{cases} 1, z_i \geq 0 \\ -1, z_i < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Параметр α_i , определяет базисные углы:

$$\alpha_i = \arctg(2^{-i}). \quad (3)$$

Используя алгоритм (1), за N итераций можно получить приближённые значения синуса и косинуса:

$$x_N \approx KP \cos(\varphi), y_N \approx KP \sin(\varphi), z_N \approx 0, \quad (4)$$

где P – масштабирующий коэффициент CORDIC алгоритма, при базисных углах вида (3), он равен:

$$P = \prod_{i=0}^{N-1} \cos \left[\arctg(2^{-i}) \right]^{-1}$$

При $K = 1/P$, амплитуда функций косинуса и синуса в (4) равна 1.

При реализации CORDIC вычислителя для DDS генератора, наиболее предпочтительна конвейерная структура, обеспечивающая высокую скорость генерации значений гармонических сигналов и позволяющая отказаться от памяти для хранения значений базисных углов.

Для ускорения и увеличения точности CORDIC вычислителей применяются различные методы:

1. Предварительный расчёт J -го количества первых итераций алгоритма. Это позволяет заменить часть блоков CORDIC алгоритма, на мультиплексоры, с помощью которых будут выбираться предварительно рассчитанные значения [3].

2. Использование аппроксимации сигналов рядами Тейлора для улучшения точности и уменьшения размера CORDIC блока. Данный метод позволяет скорректировать фазовую ошибку и уменьшить фазовый шум, которая появляется при усечении сигнала с выхода фазового аккумулятора [4].

3. Использование дизеринга для улучшения точности DDS генераторов и усечения амплитуд побочных частот, возникающих из-за усечения сигнала фазового аккумулятора, перед осуществлением преобразования фаза-амплитуда [5].

Таким образом, использование прямого вычисления гармонического сигнала из фазы на основе CORDIC-алгоритма, позволяет отказаться от использования памяти для хранения значений тригонометрических сигналов, повысить скорость и уменьшить энергопотребление устройства. Возможность одновременной генерации сигналов синуса и косинуса позволяет использовать DDS генератор на основе CORDIC-вычислителя для квадратурной модуляции. Для повышения качества генерируемого сигнала могут быть использованы методы аппроксимации рядами Тейлора и дизеринг. Уменьшение площади занимаемой CORDIC-вычислителем и уменьшение задержки генерации сигнала, возможно путём предварительного расчёта значений части начальных итераций алгоритма.

Список литературы

[1] В.И. Джиган, А.И. Смекалов. Цифровой синтезатор с прямым вычислением гармонического сигнала // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2015. № 6. т. 20. С. 625 – 633.

[2] Prajakta J. Katkar, Yogesh S. Angal. Direct digital synthesis based CORDIC algorithm: a novel approach towards digital modulations // IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume: 04 Issue: 07, July 2015.

[3] *M. Chinnathambi, N. Bharanidharan, S. Rajaram.* «FPGA Implementation of Fast and Area Efficient CORDIC algorithm». International Conference on Communication and Network Technologies (ICCNT), 2014, pp. 228-232.

[4] *Maher Jridi, Ayman Alfalou.* Direct Digital Frequency Synthesizer with CORDIC Algorithm and TaylorSeries Approximation for Digital Receivers. European Journal of Scientific Research, EuroJournals,2009, 30 (4), pp.542-553.

[5] *Yuanwang Yang, JingyeCai, and Lianfu Liu.* «A Novel DDS Array Structure with Low Phase Noise and Spurs». IEEE 13th InternationalConferenceon-CommunicationTechnology, 2011, pp. 302 – 306.

Корнев Сергей Александрович (KornevS.A.) – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана; s.kornev.tov@gmail.com

Мишенев Роман Александрович (MishenevR.A.) – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана; mishenev.r@yandex.ru

Андреев Владимир Викторович (Andreev V.V.) – д-р техн. наук, профессор кафедры «Проектирование и технология производства электронных приборов» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана; vladimir_andreev@bmstu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПРОФИЛОМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРОВОДЯЩЕГО СЛОЯ ТОЛСТОПЛЕНОЧНОГО РЕЗИСТОРА

В настоящее время резистивные элементы, изготовленные по технологии толстых пленок на основе алюминия оксида Al_2O_3 γ -модификации нашли широкое применение в платах для автомобильной электроники, силовой и СВЧ электроники [1].

Применение толстопленочных сенсоров в качестве плат реостата датчика уровня топлива подразумевает работу в условиях постоянных механических воздействий со стороны перемещающихся механических контактов. Как правило, ведущими производителями автомобильных компонентов устанавливаются жесткие требования к уровню шероховатости проводящего слоя в пределах 0,6-0,8 мкм (среднеарифметическое значение). От шероховатости зависит коррозионная стойкость, износостойкость и другие механические характеристики. На поверхностях рабочих узлов постоянно происходят процессы, которые могут оказывать на них негативное влияние. К таким процессам относят: появление трещин, механический износ, обуславливаемый трением, эрозия, коррозия металла, появление заусенцев [2]. Поэтому проблема измерения шероховатости поверхности структуры, работающей с большим износом, встает наиболее актуально. Данная работа посвящена проведению измерения уровня шероховатости пленочного слоя, выполненного серебряно-палладиевой пастой изделия «Датчик уровня топлива», показанного на рис. 1.

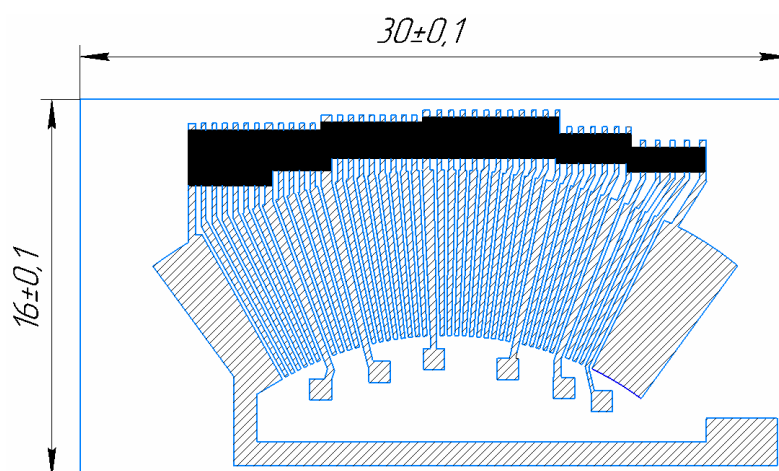


Рис. 1. Топология пленочного резистора

На рис. 1 штриховкой показаны проводниковые слои, а сплошной черной заливкой – резистивный слой. Исследуемая область показана на рис. 2.

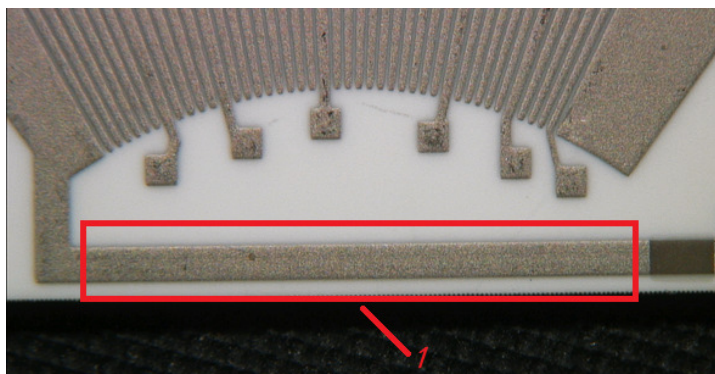


Рис. 2. Пленочный резистор:
1 – исследуемая область

Для проведения измерения использовался «профилометр модели 130», изготавливаемый АО «Завод ПРОТОН»[3]. Схема проведения измерения представлена на рис. 3.

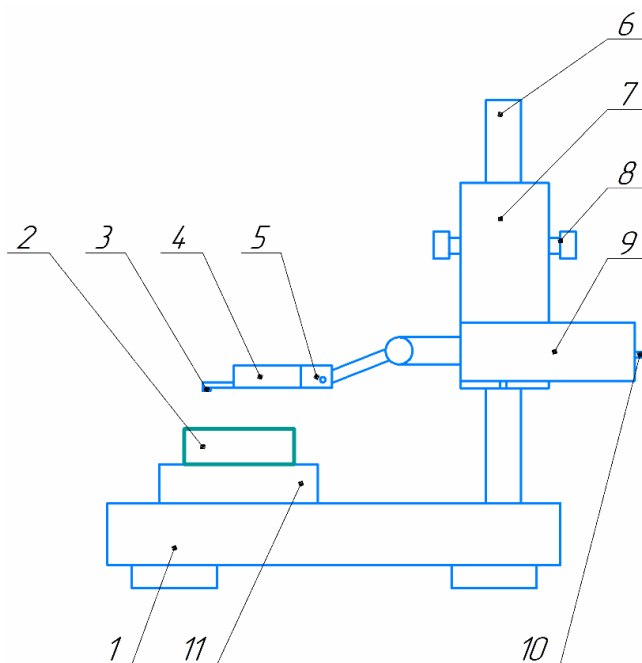


Рис. 3. Схема проведения измерения

Измеряемый образец 2 установлен на призму 11, которая перемещается по плите 1 вдоль направления трассирования. Датчик 4 закреплен своим хвостовиком в гнезде движущегося при трассировании штока привода 5. Привод 9 предназначен для осуществления трассирования и установлен на каретку 7. Каретка может свободно перемещаться по колонне 6 вверх-вниз с поворотом вокруг оси колонны или фиксироваться в одном положении прижимами 8. Из передней части корпуса датчика 4 выступает твердосплавная опора и алмазная игла 3. Игла перемещается вдоль поверхности, перпендикулярно её плоскости, при этом, на шероховатой поверхности, неизбежно, возникают колебания иглы. Механические колебания являются первичным сигналом, который при помощи внутреннего пьезоэлектрического преобразователя преобразуется в токовый. После этого, электрический сигнал поступает на элек-

тронный усилитель, после чего интегрируется и передается по USB порту 10 на персональный компьютер. Таким образом, на экране персонального компьютера отображается усредненный параметр, характеризующий не только количественные, но и качественные показатели неровности и шероховатости поверхности. Результаты анализа представлены на рис. 4.

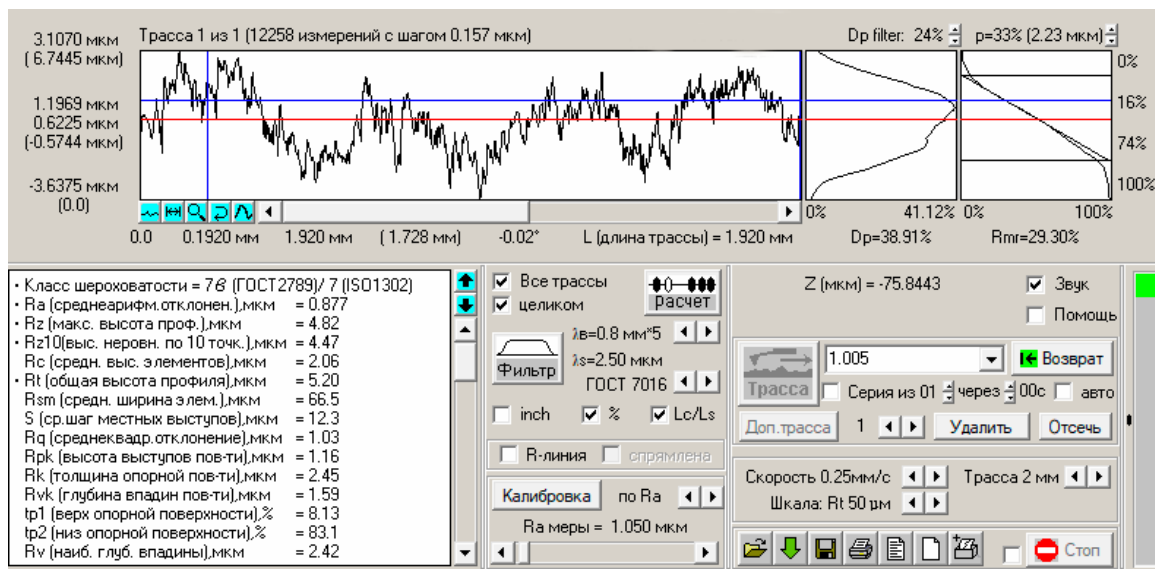


Рис. 4. Результаты проведения измерения

Контактные методы, основанные на ощупывании исследуемой поверхности щупом (алмазной иглой), являются наиболее предпочтительными для анализа прецизионных слоев изделий интегральной электроники. Погрешность профилометра, как-правило не выходит за пределы $\pm 10\%$, $\pm 25\%$ [4]. Таким образом, контактная профилометрия позволяет анализировать профилограммы поверхностей, изучать толщины пленок, толщины напыления, глубину и углы травления и т.д. Недостатком механических профилометров является то, что измерительный щуп (игла) контактирует с поверхностью и, следовательно, в той или иной мере повреждает её. Кроме того, процесс измерения длительный, особенно если необходимо исследовать поверхность образца по всей его площади.

Список литературы

[1] *Подвигалкин В.Я.* Толстые плёнки радиоэлектроники. Физико-технические основы, гетероструктурные среды, приложения : учебное пособие / В.Я. Подвигалкин. — СПб.: Лань, 2017. — 212 с. — ISBN 978-5-8114-2404-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/91290> (дата обращения: 08.11.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

[2] *Гладков С.О.* Физика композитов : учебник для вузов / С.О. Гладков. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2020. — 332 с. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <http://bibli-online.ru/bcode/453323> (дата обращения: 08.11.2020).

[3] *Официальный сайт* АО «Завод ПРОТОН». Режим доступа: <http://www.prof130.ru>. (Дата обращения 08.11.20)

[4] *Приборы для измерения шероховатости. Профилометры, профилографы и их модификации* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.штангель.рф>. (дата обращения 07.11.20)

Мишенев Роман Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mishenev.r@yandex.ru

Корнев Сергей Александрович – студент КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана. E-mail: s.kornev.tov@gmail.com

Островский Дмитрий Петрович – заместитель тех. директора ООО «ФОКОН». E-mail: blackswan.94.klg@gmail.com

Адарчин Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и технология производства электронных приборов» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: adarchin@rambler.ru

РОЛЬ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ВТОРИЧНЫХ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТХОДОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

В предыдущие десятилетия отечественная промышленность не испытывала дефицита в рудных материалах, предназначенных для получения цветных металлов [1], прежде всего меди, прецизионные изделия из которой, как правило рентабельно получать методами порошковой металлургии [2, 3]. Не было и проблем в технике получения медных порошков и при диагностике их основных свойств и изделий на основе медьсодержащих композиций [4].

Однако к настоящему времени в силу целого ряда объективных и субъективных причин стоимость порошкообразной меди резко возросла, в том числе из-за повышенного спроса на порошки цветных металлов и массового применения новых технологий [5].

Перспективным способом снижения стоимости медных порошков является их выделение из отходов производства, в частности из хлоридно-сульфатных растворов под действием оксида углерода [7-9].

Процесс восстановления меди(II) до меди(I) действием CO катализируется в начальной стадии палладием(II), а затем развивается в автокаталитическом режиме с дальнейшим редоксораспадом интермедиатов.

Восстановителем являются лигандные молекулы CO, которые находятся в активированном состоянии:



Известно, что при действии CO на отработанные электролиты электролиза рафинирования меди в присутствии хлорид-ионов и палладия(II) происходит каталитическое восстановление меди(II) до меди(I) и выделение последней в осадок в виде хлорида меди(I). Однако при хорошей кинетике процесса не достигались ни полнота восстановления меди(II) до меди(I) ни полнота осаждения меди(I).

Это связано с тем, что в системе $\text{Cu}^{2+} - \text{Cu}^+ - \text{Cl}$ величина Cl^- существенно влияет как на величину редокс-потенциала $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$, так и на растворимость CuCl за счет комплексообразования:



В табл. 1 приведены рассчитанные значения $\varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+}$ для различных концентраций ионов Cu^{2+} и Cl^- .

В работе [2] было показано, что палладий(II) перестает катализировать восстановительное действие CO, если редокс-потенциал системы менее 400 мВ. Как видно из табл. 1, для достижения степени восстановления меди(II) до меди(I) равной 99% нужна $[\text{Cl}^-] > 0,1$ моль/л. Но при этом за счет реакции

(1) содержание Cu^+ в растворе составит 0,5 г/л в виде $[\text{CuCl}_2^-]$, а при исходной $[\text{Cu}^{2+}] = 50$ г/л, остаточная концентрация Cu^{2+} составит 0,5 г/л.

Таблица 1.

Влияние концентраций ионов Cu^{2+} и Cl^- на величину $\varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+}$

Cu^{2+} , моль/л	1	0,1	0,01	0,01	0,001
Cl^- , моль/л	1	0,1	0,01	0,1	1
$\varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+}$, мВ	592	460	329	394	394

В табл. 2 приведены результаты экспериментов, показывающие соотношение концентраций меди(II) и меди(I), а также степени осаждения последней. Как видно из табл. 2, в процессе гидрокарбонилирования достигается степень восстановления меди(II) до меди(I) $\geq 98\%$, степень осаждения меди(I) $> 96\%$, а степень обезжелезивания раствора более 94%.

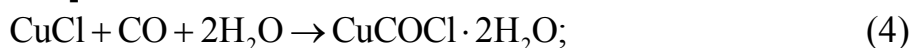
Таблица 2.

Результаты гидрокарбонилирования сульфатно-хлоридных растворов. Состав, г/л: $\text{Cu}^{2+} = 49,5$; $\text{Ni}^{2+} = 25$; $\text{H}_2\text{SO}_4 = 100$; $\text{Cl}^- = 1,16$ моль/л; палладий(II) = 4 мг/л

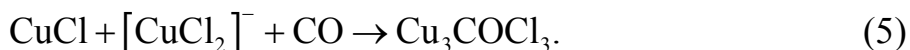
№№ п/п	Условия обработки		Остаточная концентрация, г/л		Восстановление $\text{Cu(II)} \rightarrow \text{Cu(I)}$, %	Осаждение, Cu(I) , %
	t , °С	τ , мин	Cu(I)	Cu(II)		
1	50	105	1,30	1,85	97,38	96,40
2	60	110	1,20	1,45	97,58	97,00
3	50	130	0,90	1,75	98,20	96,40
4	50	175	0,90	1,75	98,20	96,40
5	50	150	1,50	1,25	96,36	96,10
среднее			1,16	1,61		

Известно, также, что выделенный осадок CuCl не загрязняются целым рядом цветных металлов, а также мышьяком и кремнием. С целью прямого определения потенциальных загрязнителей, таких как никель и железо, из синтетического раствора был выделен осадок CuCl .

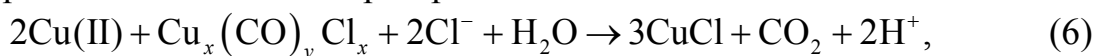
По данным анализа молярные соотношения в полученном осадке $\text{Cu}:\text{CO}=1:1$, что вероятно указывает на смесь $\text{CuCOCl}+2\text{CuCl}$ (возможно $\text{CuCOCl}+[\text{CuCl}_2]^-$):



или образование кластерного соединения состава $\text{Cu}_x(\text{CO})_y\text{Cl}_x$, где $y < x$:



Дальнейшие опыты с карбонилхлоридом меди(I) показали возможность его быстрого восстановления при промывании:

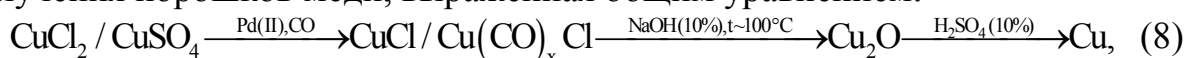


а также его нестабильность во влажном состоянии:

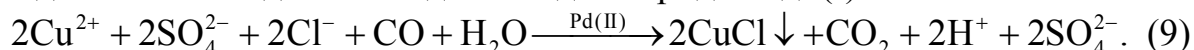


где цвет самого осадка менялся от перламутрового к зеленому.

Проанализировав селективный механизм ГК процесса выделения высококислотной меди при гидрокарбонилировании сульфатно-хлоридных растворов с низким её процентным содержанием, предложена технологическая схема получения порошков меди, выраженная общим уравнением:



где постадийно, на первом этапе, при действии СО на отработанные электролиты электрорафинирования меди в присутствии ионов хлора и палладия(II) происходит каталитическое восстановление меди(II) до меди(I) и выделение последней в осадок в виде хлорида меди(I):



При протекании реакции (9) образующаяся медь(I) может находиться в разных формах в зависимости от концентрации хлорид-ионов и температуры. Если $[\text{Cl}^-]$ недостаточна, то наблюдается образование осадка бесцветных пластинчатых кристаллов общего состава $\text{Cu}(\text{CO})_x\text{Cl}$, где $x \leq 1$.

При $t = 40 - 60^\circ\text{C}$, $x < 1$, а при $t = 20^\circ\text{C}$, $x = 1$. Если $[\text{Cl}^-]$ велика, то медь(I) остается в растворе, образуя достаточно прочный комплекс $[\text{CuCl}_2]^-$, который в присутствии СО трансформируется в карбонилхлоридный анион. А так же кластеров, содержащих координированные молекулы СО, которые находятся в активированном состоянии.

Далее, осадок CuCl два раза промывался на фильтре, затем распульповывался и снова фильтровался. Полученный таким образом осадок CuCl переводили в раствор и анализировался на содержании Ni и Fe. Содержание этих металлов в CuCl по отношению к меди составило: Ni - 0,0016%; Fe - 0,0012%, что меньше их предельного содержания в меди марки М0.

Таким образом, показано, что при гидрокарбонилировании сульфатно-хлоридных растворов, содержащих Fe, Ni, Co и другие тяжелые цветные металлы, медь можно выделить в виде соли CuCl , где примеси указанных металлов не превышают их уровня в меди марки М0.

В тоже время в этом процессе нельзя достичь полноты выделения меди в осадок - около 5% её остается в виде меди(II) и меди(I). Это ограничивает возможность технологического использования процесса гидрокарбонилирования.

Однако остаточное количество меди (II) можно удалить из раствора за счет хорошо известной реакции:

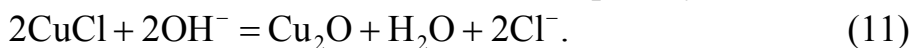


Реакция была осуществлена нами в растворе, где после гидрокарбонирования остаточное содержание меди (II) составляло 1,60 г/л. В этот раствор вводили порошок меди в избыточном количестве и пульпа выкручивалась 30 мин. без допуска воздуха, после чего содержание меди(II) в растворе стало $\leq 0,1$ мг/л.

Полнота осаждения меди(I) определяется остаточной концентрацией иона Cl^- после протекания реакции (10). Так, при $[\text{Cl}^-] = 10^{-3}$ моль/л остаточная расчетная концентрация меди(I) в растворе должна составить 5–6 мг/л.

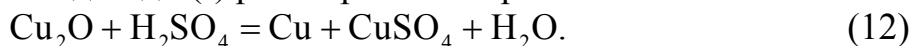
Использованный в реакции (10) порошок меди был получен следующим образом:

1. Чистый осадок CuCl подвергался щелочному гидролизу:



Остаточное содержание хлорид-иона в оксиде меди(I) составило 0,085%.

2. Полученный оксид меди (I) растворился в серной кислоте:



Таким образом, в реакции (10) был использован порошок меди с нормированным уровнем примесей.

В заключении следует отметить, что технологические возможности гидрокарбонированного процесса переработки меди содержащих растворов не ограничивается результатами, изложенными в данной работе.

Список литературы

[1]. *Телис М.Я.* Плавка цветных металлов и сплавов. – М.: Высшая школа, 1964 – 319 с.

[2]. *Айзенкольб Ф.* Успехи порошковой металлургии. – М.: Металлургия, 1969. – 540 с.

[3]. *Виноградов Г.А., Семенов Ю.Н., Катрус О.А., Каташинский В.П.* Прокатка металлических порошков. – М.: Металлургия, 1969. – 382 с.

[4]. *Уманский Я.С.* Рентгенография металлов и полупроводников. – М.: Металлургия. 1969. – 496 с.

[5]. *Семенов Б.И., Куштаров К.М.* Производство изделий из металла в твердожидком состоянии. Новые промышленные технологии. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 223 с.

[6]. *Atkinson H.V.* Modeling the semisolid processing of metallic alloys. Progress in Materials Science. 2005, vol. 50, pp. 341–412.

[7]. *Федосеев И.В., Максимов В.В.* Использование гидрокарбонильного процесса в совершенствовании технологии производства меди // Цветные металлы. – 2012. – № 9. – С. 21–24.

[8]. *Коржавый А.П., Максимов В.В., Федоров В.О.* Получение исходных материалов для электронной компонентной базы радиоэлектронного произ-

водства // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2016. – Т. 21. – № 1. – С. 9–14.

[9]. Шаталов В.К., Максимов В.В. Получение композиционных материалов на основе порошков меди и палладия для изделий вакуумной и газоразрядной техники // Научные технологии. – 2018. – Т. 18. – № 11. – С. 28–31.

Инюхин Михаил Валерьевич – инженер-технолог АО «Биметалл». E-mail: michael1@kaluga.ru

Коржавый Алексей Панетелевич – профессор, д-р техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fn2kf@list.ru

Максимов Владимир Владимирович – доцент кафедры «Материаловедение и химия», канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: maksimov_W@mail.ru

Шаталов Валерий Константинович – заведующий кафедрой «Материаловедение и химия», д-р физ.-мат. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vkshatalov@yandex.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

Фотоэлектрические датчики используются во многих отраслях промышленности для точного обнаружения объектов без физического контакта. Принцип их действия основан на обнаружении световых сигналов. Когда луч от датчика достигает объекта контроля, возникают такие явления как передача, отражение и поглощение света. То, какое явление преобладает, зависит от взаимного расположения излучателя и приемника, размеров объекта, его материала, толщины, цвета и шероховатости поверхности. В сравнении с широко применяемыми бесконтактными емкостными, индуктивными и ультразвуковыми датчиками положения, а также механическими концевыми выключателями оптические датчики имеют ряд преимуществ:

- бесконтактный метод контроля положения и перемещения объекта. Как следствие отсутствует механический износ, дребезг контактов и ложные срабатывания;
- зона срабатывания и обнаружения объекта от нескольких миллиметров до нескольких сотен метров в зависимости от типа датчика;
- высокая скорость отклика. Датчики положения оптического типа с успехом применяются на конвейерных лентах, где объекты движутся с высокой скоростью и плотностью размещения на ленте. Датчики данного типа могут применяться не только для контроля объектов, но и для счета этих объектов. Частота переключений может достигать 30 кГц;
- возможность обнаружения объектов очень малых размеров. Так как оптический луч оптических датчиков положения с помощью системы линз, диафрагм и оптоволоконных кабелей можно сфокусировать в очень тонкий пучок это позволяет контролировать наличие объектов очень небольших размеров;
- возможность обнаружения объектов из различных материалов. Если индуктивные и емкостные датчики накладывают определенные ограничения на такие характеристики контролируемого объекта как магнитные свойства и диэлектрическая проницаемость, то оптические датчики, при соответствующей настройке, с успехом обнаруживают объекты практически из любого материала. В частности, оптические датчики используют для обнаружения тонких и прозрачных объектов, таких как полиэтиленовая пленка. Обычно для этих целей используют датчики с видимым излучением красного цвета;
- возможность настройки расстояния срабатывания для выборочного контроля и счета объектов, движущихся перед датчиком в несколько рядов;
- наличие таймера срабатывания для подавления случайных оптических помех;

- возможность обнаружения объектов с очень высокой температурой, например, литья, поковок, проката и т.п.;
- нечувствительность к магнитным полям, электростатическим помехам;
- нечувствительность к ионизирующему излучению и возможность установки в крайне стесненном пространстве (для оптоволоконных оптических датчиков положения).

Необходимо отметить, что есть три типа оптических датчиков, различающихся по схеме работы: однолучевые барьерные – с отдельным расположением приемника и передатчика, рефлекторные – с отражением от рефлектора и диффузные – с диффузным отражением от объекта (рис. 1). Оптические бесконтактные датчики положения получили огромное распространение на производстве и их можно увидеть практически на любой автоматической линии возле конвейерной ленты.

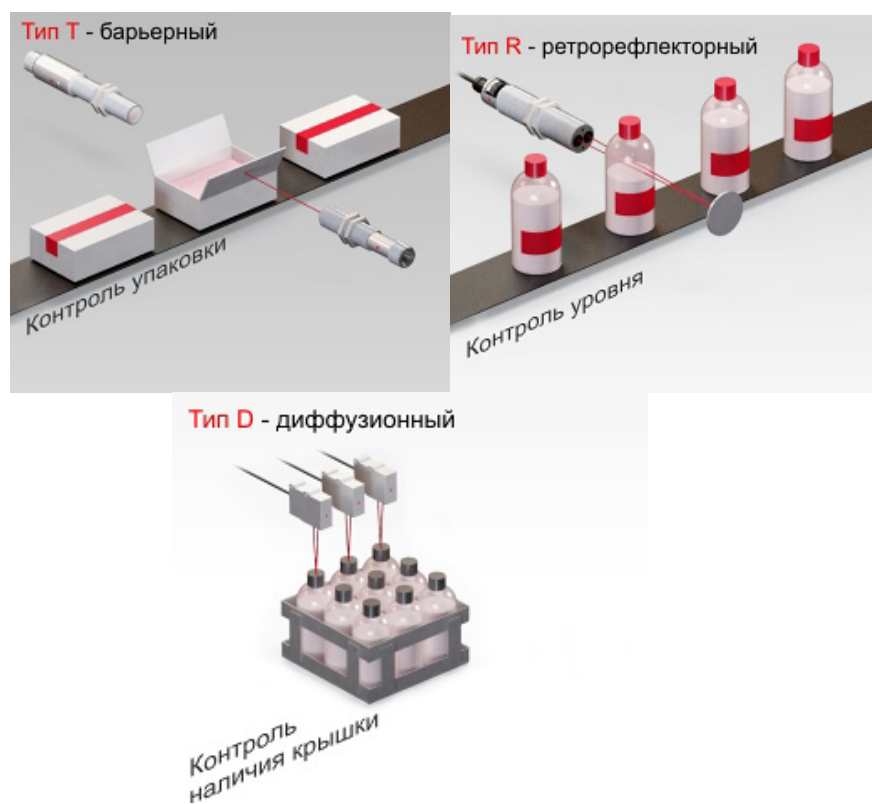


Рис. 1. Основные типы оптических датчиков

К недостаткам оптических датчиков положения можно отнести (табл. 1):

- возможность ложных срабатываний при работе в условиях высокой запыленности, тумана, интенсивной внешней засветки, низких температур, сильной вибрации;
- невозможность обнаружения объекта через непрозрачную преграду или стенку резервуара или контейнера;
- трудоемкую процедуру совмещения оптических осей излучателя и приемника у датчиков Т-типа при их монтаже, особенно если расстояние между ними превышает несколько десятков метров;

- необходимость настройки чувствительности датчика у датчиков D-типа, в зависимости от отражающей способности поверхности контролируемых объектов;
- постепенная деградация излучателя (светодиода) датчика из-за чего интенсивность его излучения постепенно падает и со временем может потребоваться подстройка чувствительности датчика;
- наличие слепых зон у датчиков D и R-типа. Слепой называется зона от активной поверхности оптического датчика до минимального расстояния его срабатывания. В слепой зоне объект не обнаруживается датчиком.

Таблица 1.

Специфика использования датчиков

Тип	Применение	Достоинства	Недостатки
T	Обнаружение пересечения луча (подсчет, позиционирование предметов)	<ul style="list-style-type: none"> • высокая дальность • высокий запас на загрязнение среды • не чувствителен к отражениям от объекта • самый надежный метод 	<ul style="list-style-type: none"> • требуется приемник и передатчик • дополнительная прокладка проводов • требуется доступ с 2-х сторон объекта • сложнее установка • не чувствителен к прозрачным объектам
R	Обнаружение пересечения луча (подсчет, позиционирование предметов)	<ul style="list-style-type: none"> • средняя дальность • требуется 1 датчик: проще монтаж, прокладка 	<ul style="list-style-type: none"> • дальность меньше чем у типа T • более чувствителен к загрязнению • «мертвая зона», не обнаруживает блестящие объекты
D	Обнаружение объекта при недоступности с обеих сторон	<ul style="list-style-type: none"> • доступ с одной стороны • не требуется отражатель 	<ul style="list-style-type: none"> • зависимость дистанции обнаружения от отражающих свойств и размеров объекта • не различает объекты на близком по свойствам фоне • малая дальность

При выборе фотоэлектрического датчика важно иметь ответы на следующие вопросы:

- Каковы размеры, форма и/или прозрачность обнаруживаемого объекта?

- Имеет ли обнаруживаемый объект какие-либо отражающие свойства?
- Какое время отклика требуется от датчика?
- Какая монтажная конфигурация требуется для датчика? Необходимо ли учитывать размещение или физические ограничения?
- Какие требования налагаются на частоту работы выходного ключа?
- Требования к нагрузке: напряжение, ток, характер сопротивления?
- Какое электропитание доступно: напряжение, ток?
- Какова температура в месте размещения датчика?
- Существуют ли другие критические условия окружающей среды, такие как загрязнение или высокая влажность?

В связи с быстрым развитием автоматизированных систем контроля и управления во всех областях промышленности возрастает потребность в датчиках с большой надежностью, стабильностью, помехоустойчивостью, долговечностью и простотой интегрирования в микроконтроллерные системы управления. Особенно это относится к таким отраслям, как авионика, металлургия, автоэлектроника, теплотехника и энергетика, медицинская техника, высокоточные системы вооружений. Перечисленным требованиям в максимальной степени удовлетворяют волоконно-оптические датчики.

До недавнего времени развитие волоконно-оптических датчиков сдерживалось, в основном, двумя факторами. Во-первых, не было дешевых оптоэлектронных компонентов – малошумящих лазерных диодов, высокочувствительных р-і-n-фотодиодов, пассивных волоконно-оптических элементов. Во-вторых, из-за нелинейности оптического сигнала относительно измеряемой величины требуются специальные алгоритмы обработки сигнала (усреднение, нелинейная обработка, интегральные преобразования), а значит – нужен процессор обработки сигнала с высокой производительностью.

С развитием микроэлектромеханики, оптоэлектронных компонентов на основе полупроводниковых гетероструктур, массовым внедрением DSP и сигнальных микроконтроллеров (MSP430, AVR и др.) ситуация на рынке стала улучшаться; появились опытные образцы чисто оптических интегральных схем, где носителем информации служит свет, а логические операции выполняются оптическими элементами. Так же для достижения требуемой точности и чувствительности возможно введение нескольких приемников, с различными спектральными характеристиками.

Список литературы

[1] *Виглеб Г.* Датчики. Устройство и применение. Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. –196 с.

[2] *Сидоров А.И.* Сенсорная фотоника. Учебное пособие. СПб: Университет ИТМО, 2019. – 96 с.

[3] *Шарапов В.М., Полищук Е.С., Кошевой Н.Д., Ишанин Г.Г., Минаев И.Г., Совлуков А.С.* Датчики: справочное пособие. – М.: Техносфера, 2012. – 624 с.

Дмитриев Алексей Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Lexaf18.97@yandex.ru

Шагаев Владимир Васильевич – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Проектирование и технология производства электронных приборов» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shagaev-vv@yandex.ru

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА МАГИСТРАЛЬНОГО ПРИЕМНИКА

В данной работе разработана интегральная микросхема содержащая четыре магистральных приемника. Она предназначена для приема цифровой информации с линии связи. Работоспособность микросхемы обеспечивается в диапазоне изменения напряжения питания от 4,5 до 5,5 В, входного напряжения низкого уровня от 0 до 1,2 В, входного напряжения высокого уровня от 2,7 до 4,5 В, при выходном токе для состояния низкого уровня на выходе от 0 до 8,0 мА и выходном токе для состояния высокого уровня на выходе от 0 до минус 0,4 мА. Схема электрическая принципиальная разработанной микросхемы представлена на рис. 1, а её основные электрические параметры приведены в табл. 1.

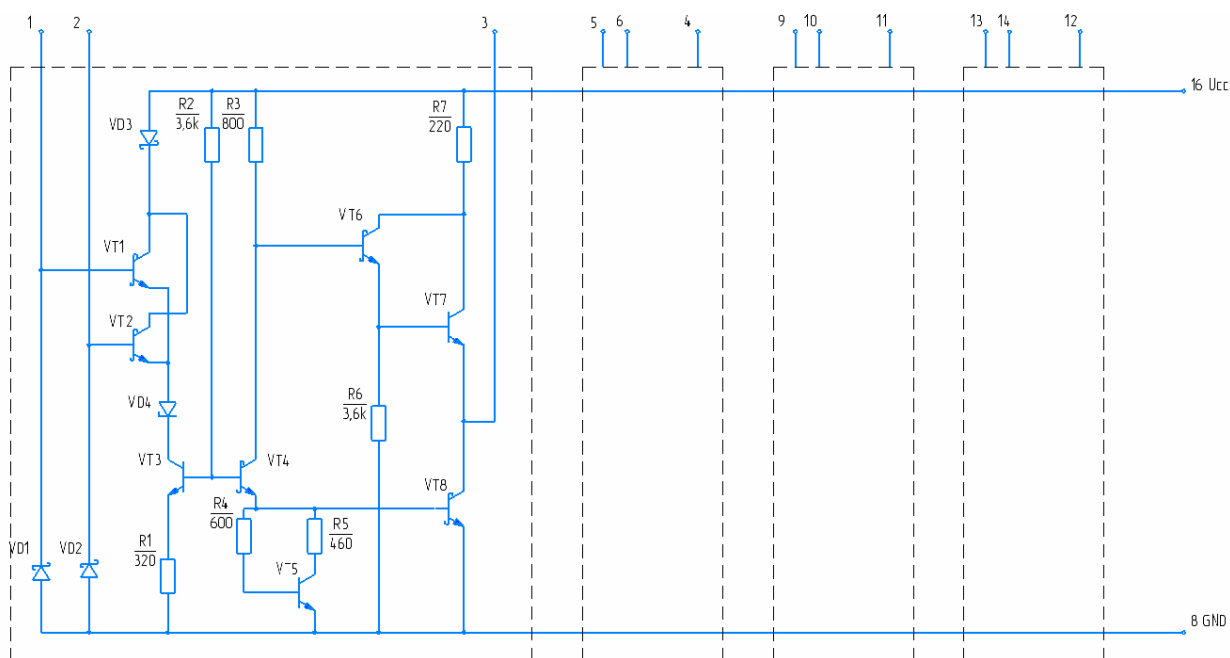


Рис.1 Электрическая принципиальная схема ИМС 559ИП2

Разрабатываемая микросхема относится к классу микросхем интерфейса и представляет собой магистральный приемник, а функционально представляет собой логическую цифровую схему, условно-графическое изображение которой представлено на рис. 2. При этом приемник осуществляет сопряжение линии и принимающего устройства. Выходной каскад выполнен на двух последовательных плечах (транзисторах), обеспечивающих логические уровни 0 и 1. Нагрузочная способность составляет до 100 мА. Микросхема имеет номинальное значение питающего напряжения 5 В. Данный вид микросхемы выполнен в металлокерамическом планарном корпусе 402.16-18.

Таблица 1.

Основные параметры микросхемы при температуре 25 ± 10 °C

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Норма		Температура, °C
	не менее	не более	
Выходное напряжение низкого уровня, В, при $U_{CC}=4,5$ В; $U_{IПН}= 2,7$ В; $I_{OL}= 8$ мА	-	0,5	25 ± 10
Выходное напряжение высокого уровня, В, при $U_{CC}=4,5$ В; $I_{OH}=-0,4$ мА; $I_{ITL}= 1,2$ В	2,4	-	25 ± 10
Прямое напряжение на антивзвонном диоде, В, при $U_{CC}=4,75$, $I_I=-12$ мА	-1,5	-	25 ± 10
Входной ток низкого уровня, мА при $U_{CC}=5,5$ В; $U_{ILmax}= 0$ В	-	0,1	25 ± 10
Входной ток высокого уровня, мкА при $U_{CC}=5,5$ В; $U_{ILmax}= 3,3$ В	-	0,2	25 ± 10
Ток потребления выходного напряжения низкого уровня, мА, при $U_{CC}=5,5$ В	-	60	25 ± 10
Ток потребления выходного напряжения высокого уровня, мА, при $U_{CC}=5,5$ В	-	26	25 ± 10
Время задержки распространения при включении, нс, при $U_{CC}=5,5$ В; $C_L= 30$ пФ, $R_L=75$ Ом	-	15	25 ± 10
Время задержки распространения при вы- ключении, нс, при $U_{CC}=5,5$ В; $C_L= 30$ пФ, $R_L=75$ Ом	-	30	25 ± 10

Микросхема выполнена по биполярной технологии на вертикальных p-p-n транзисторах. За счет того, что транзисторы имеют небольшое отношение глубины к площади эмиттера, высоколегированный эмиттер, высокий R_s базы, наличие скрытого слоя (низкоомного коллектора), а также то, что транзисторы работают при высоких плотностях тока коллектора, изменение электрических параметров микросхем практически не происходит.

Основными динамическими параметрами логических элементов являются задержка распространения сигнала при переключении и длительность положительного (нарастающего) и отрицательного (спадающего) фронтов выходных сигналов.

Общепринятое усреднение потребляемой мощности оправдано тем, что обычно во время работы в составе цифрового устройства логические микросхемы половину времени находятся в открытом состоянии, а другую половину времени - в закрытом.

Средняя потребляемая мощность тесно связана с быстродействием микросхемы (ее временем переключения или рабочей частотой переключения): чем больше средняя потребляемая мощность, тем с большей частотой может переключаться микросхема.

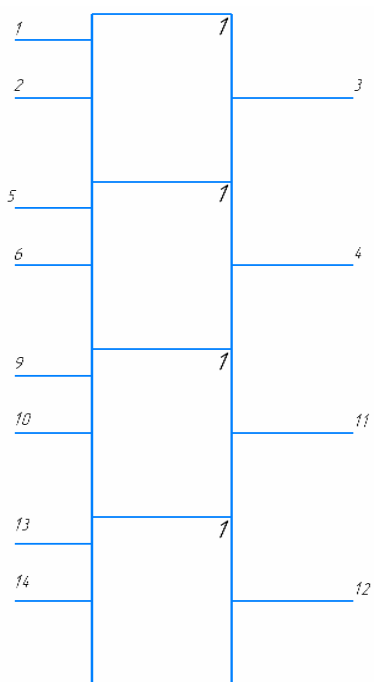


Рис. 2. Логическая цифровая схема

На рис. 2 принято следующее обозначение выводов: 1, 2 – входы 1,2; 3, 6 – выходы 1,2; 4, 5 – входы 3,4; 7, 15 – свободные; 8 – общий; 9 – выход 3; 10, 11 – входы 5,6; 12 – выход 4; 13, 14 – входы 7,8; 16 – напряжение питания.

На рис. 3 представлен метод отсчета времени задержки распространения при включении t_{PHL} , времени задержки распространения при выключении t_{PLH} .

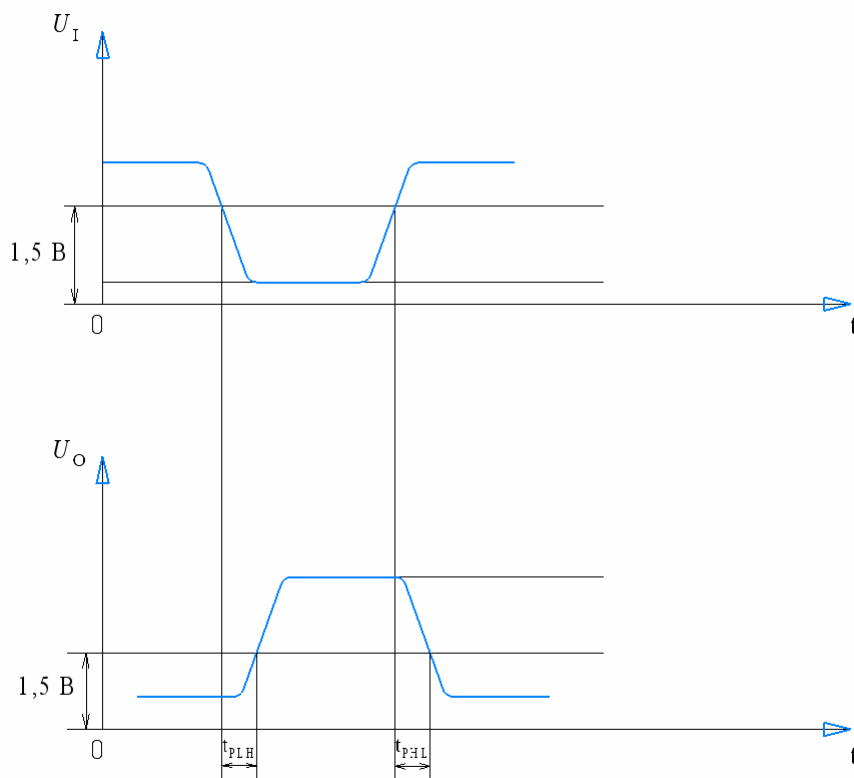


Рис. 3. Метод отсчета задержки при включении и выключении ИМС 559ИП2

Измерение времени задержки распространения при включении t_{PHL} и выключении t_{PLH} проводились согласно ГОСТ 18683.2 метод 2 в режимах и условиях, указанных в технических условиях на разработанную микросхему.

Голубков Константин Геннадьевич - профессор, д-р техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: vladimir_andreev@bmstu.ru

Андреев Владимир Викторович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: klgkostian@yandex.ru

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОХЛАЖДАЕМЫХ ФОТОДИОДОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ АНТИМОНИДА ИНДИЯ

Развитие твердотельной и электровакуумной электроники, техники физического эксперимента и других отраслей науки и техники потребовало создания многих новых приборов с вакуумно-плотными оболочками. Эти оболочки традиционно изготавливаются из стекла, металла или керамики и содержат функциональные узлы – электрические вводы, изоляторы и окна, прозрачные для световых лучей в той или иной части спектра, например, в инфракрасной. Такими узлами являются, во-первых, обычные стеклометаллические спаи – одиночные вводы, многоштыковые ножки, дисковые спаи и др., а также окна приборов из таких материалов, как стекло, сапфир, кремний, германий и т.д.

Жесткие технические требования, которым должны удовлетворять приборы во время эксплуатации, побуждают конструкторов использовать упомянутые материалы, а специфические свойства этих материалов в свою очередь заставляют технологов разрабатывать соответствующие технологические процессы вакуумно-плотного соединения их с конструкционными материалами приборов. Так, изготовление стеклянных приборов с окнами из сапфиров потребовало подбора подходящих стекол, согласующихся с сапфиром по тепловому расширению и обладающих рядом благоприятных свойств. Впаивание сапфира в корпуса металлических приборов потребовало разработки новых технологических приемов и корректировки составов спаиваемых материалов. Аналогичное положение наблюдается при изготовлении корпусов приборов с окнами из кремния, германия и других материалов [1].

В 2019 г. был запатентован охлаждаемый планарный фотодиод на основе кристаллов антимонида индия. Задачей, решаемой предлагаемой полезной моделью, является уменьшение веса и габаритов охлаждаемого фотодиода на основе InSb. Прототипом модели является охлаждаемый планарный многоплощадочный фотодиод (ФД) на основе InSb (рис. 1).

ФД-прототип содержит закрепленные на металлокерамическом цоколе 1 стеклянный баллон (сосуд Дьюара) 2, расположенный внутри стеклянного баллона 2 металлический держатель 3 для крепления фоточувствительных элементов и металлический корпус 13 для закрепления на его конце металлической оправы 11 с фильтром 12. ФЧЭ образуют сапфировое основание 4, приклеенное на торцевую поверхность держателя 3, приклеенный к сапфировому основанию 4 фотодиодный кристалл 5 с окружающим его сапфировым контактным растром 6, сапфировое кольцо 7, симметрично охватывающее фотодиодный кристалл 5 и приклеенное на растр 6, сапфировая крышка 8, приклеенная на сапфировое кольцо 7 и образующая герметичную капсулу вместе с сапфировым основанием 4, сапфировым растром 6 и сапфировым кольцом 7, и черненная металлическая диафрагма 9, формирующая апертур-

ный угол и приклеенная на сапфировую крышку 8. Детали такого фоточувствительного элемента являются прозрачными для коротковолнового излучения. Поэтому экранирование возможных подсветок кристалла 5 в таком фотодиоде обеспечивается металлическим корпусом 13, окружающим стеклянный баллон 2 с двумя входными сапфировыми окнами 10, и ввинченной в корпус металлической оправой 11 с вклеенным в нее фильтром 12, прозрачным только для сигнального излучения. Таким образом, вся внутренняя полость баллона, а значит и кристалл недоступны для коротковолнового излучения среды.

Недостатком ФД-прототипа являются избыточные габариты и вес, обусловленные наличием металлического корпуса 13, охватывающего стеклянный баллон 2, и удлиняющей конструкцию ФД металлической оправы 11 с массивным фильтром из кристаллического арсенида индия 12, а также сапфировых раstra 6 и крышки капсулы

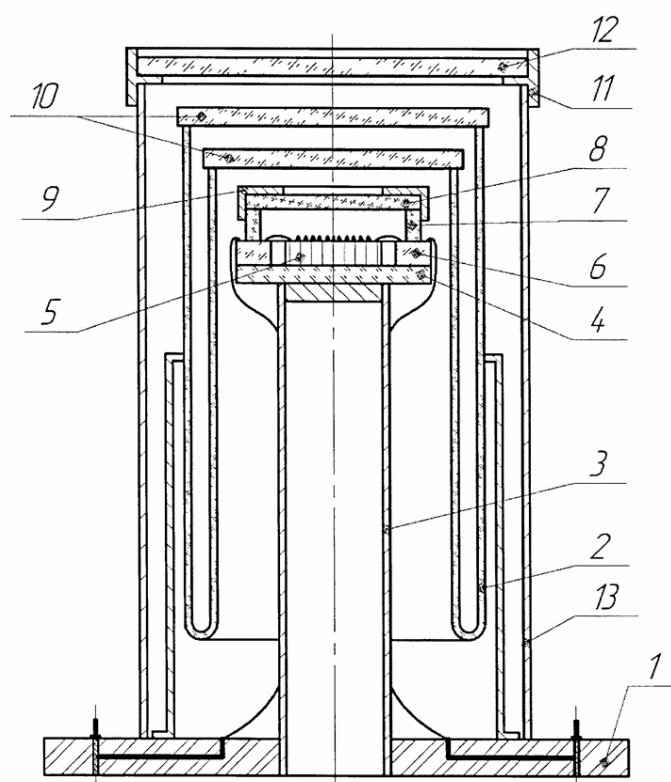


Рис. 1. Охлаждаемый планарный многоплощадочный фотодиод на основе кристаллов антимонида индия [2]

Предлагаемая усовершенствованная полезная модель относится к полупроводниковым приборам, чувствительным к ИК-излучению диапазона (3-5,5) мкм и может использоваться при изготовлении дискретных, линейчатых и матричных приемников излучения на основе фотодиодных кристаллов из антимонида индия.

Сущность полезной модели поясняется чертежом, показанном на рис. 2, на котором представлена принципиальная схема ФД.

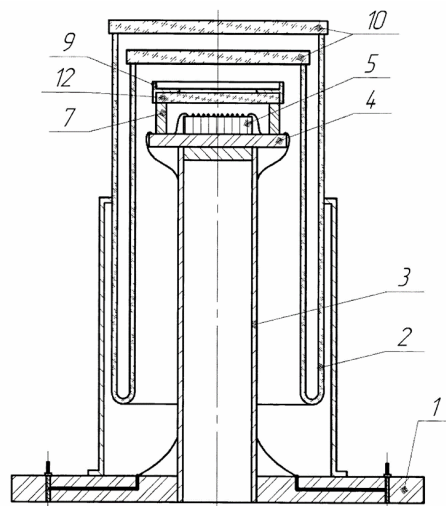


Рис. 2. Охлаждаемый планарный фотодиод на основе кристаллов антимонида индия[2]

Предлагаемый ФД содержит цоколь 1, на котором закреплены стеклянный баллон (сосуд Дьюара) 2 с сапфировым двухстенным входным окном 10. Внутри стеклянного баллона 2 также на цоколе 1 закреплен металлический цилиндрический держатель 3. На держателе 3 установлен ФЧЭ, состоящий из керамического основания 4 с нанесенным на него рисунком раstra в виде токопроводящих дорожек, на котором установлен фотодиодный кристалл 5, снабженный проволочными выводами, соединяющими фоточувствительные площадки с соответствующими дорожками раstra, на керамическом основании 4 закреплено керамическое кольцо 7 с приклеенными на него малоразмерным фильтром 12 и апертурной диафрагмой 9. Последние четыре детали (позиции 4, 7, 9 и 12) образуют малоразмерный замкнутый экран от коротковолнового излучения внешней среды вокруг фотодиодного кристалла 5. На ФД-прототипе такой экран формируется массивным металлическим корпусом 13 с ввернутой в него массивной металлической оправой 11, в которой закреплен фильтр 12 из просветленного кристалла арсенида индия значительных габаритов.

Отсутствие металлического корпуса 13 с ввернутой в него массивной металлической оправой 11, сапфировых раstra 6 и крышки капсулы 8 позволило уменьшить вес и габариты охлаждаемого ФД на основе InSb.

В предлагаемой полезной модели отсутствует корпус 13 и оправка 11 с массивным фильтром 12. Однако если просто удалить эти детали, то появляется возможность прохождения коротковолнового излучения среды через входные окна 10 стеклянного баллона 2. «Прямые» лучи, перпендикулярные поверхности окон, попадают на поверхность кристалла и создают на ней отрицательный заряд электронов, который в свою очередь создает у поверхности кристалла «наведенный» *p*-слой, шунтирующий «рабочий» *p-n* переход. В результате возрастает шумовой ток и (или) уменьшается ток сигнала. «Косые» лучи, входя в полость стеклянного баллона и отражаясь от его стенок, ослабляясь, могут попадать на цилиндрические (боковые) поверхности про-

зрачных сапфировых деталей основания 4 и растра 6 и далее, ослабляясь, проникать внутрь ФЧЭ, где, отражаясь от стенок сапфирового кольца 7 и крышки капсулы 8 в конечном счете также попадают на поверхность кристалла 5. Как и в случае «прямого» падения на кристалл, несмотря на существенно меньший уровень засветки, по той же причине происходит деградация фотоэлектрических параметров ФД.

В предлагаемой усовершенствованной модели (рис. 2) все возможные пути попадания коротковолнового излучения непосредственно на кристалл ФД закрыты: «прямые» лучи экранирует малоразмерный фильтр 12, установленный непосредственно перед кристаллом 5, «косые» лучи экранируют непрозрачные (керамические) основание 4 и кольцо 7, а также стенка металлической диафрагмы 9, закрывающая цилиндрическую (боковую) поверхность фильтра.

Следует также отметить, что предложенный ФД является более надежным по сравнению с прототипом и более технологичным, поскольку его охлаждение в условиях воздействия коротковолнового излучения внешней среды не приводит к зарядке поверхности кристалла и как следствие – деградации его параметров, что может происходить при промежуточных проверках ФД-прототипа до установки фильтра.

Таким образом, модель ФД по сравнению с ФД-прототипом укорочена на толщину оправы и длину части корпуса ФД-прототипа, выступающей за пределы стеклянного баллона. В диаметре модель ФД уменьшена до внешнего диаметра стеклянного баллона. В соответствии с этим значительно уменьшены вес и габариты модели.

Список литературы

[1] *Кондакова Л., Михайлова В.* Стеклометаллические корпуса для полупроводниковых и электровакуумных приборов. – М.: Энергия, 1979. – 96 с.

[2] *Охлаждаемый* планарный фотодиод на основе кристаллов антимонида индия: патент RU 192540 U1. 2019.

Пазенко Иван Владимирович (Pazenko I.V.) – студент студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана; pazenko_97@mail.ru

Андреев Дмитрий Владимирович (Andreev D.V.) – к.т.н., доцент кафедры «Проектирование и технология производства электронных приборов» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана; dmitrii_andreev@bmstu.ru

СЕКЦИЯ 4.

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ГИДРОМАШИНЫ

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ЖРД С ПРЕДВКЛЮЧЕННОЙ СТУПЕНЬЮ.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью обеспечения надежной работы насосов системы подачи компонентов топлива. Снижение вибрации турбонасосных агрегатов подачи ЖРД является главной проблемой на пути повышения надежности системы подачи и всей двигательной установки. Обеспечение надежной работы насосов является многоплановой задачей. Как показывает практика эксплуатации насосных агрегатов, главной причиной высокого уровня вибрации являются пульсации давления рабочей жидкости.

Наша задача заключается в поиске способов снижения уровня вибрации уже на этапе эскизного проектирования и без существенных материальных затрат на материальную часть и экспериментальные работы.

Турбонасосный агрегат (ТНА) ЖРД.

В ракетно-космической технике для выведения полезных грузов на заданную орбиту активно используются жидкостные ракетные двигатели (ЖРД). Ведущими мировыми конструкторскими бюро непрерывно прорабатываются вопросы, связанные с созданием новых двигательных установок на жидком топливе (далее ДУ) и модернизацией уже выпускаемых конструкций.

Инженеры-конструкторы, занимающиеся разработкой новых ракетных двигателей и модернизацией уже используемых конструкций, должны вести поиск конструктивных решений, чтобы обеспечить заданные высокие требования к надежности ДУ. В свою очередь для обеспечения заданных высоких требований к надежности двигательной установки необходимо обеспечить высокий уровень надежности всех её элементов. При этом следует отметить, что значительное влияние на надежность ДУ оказывает турбонасосный агрегат (ТНА). В двигательной установке ТНА необходим для обеспечения подачи компонентов топлива с заданным высоким давлением в камеру сгорания (КС). В процессе своей работы ТНА подвержен вибрации, которая передается другим элементам конструкции ДУ [1].

Помимо этого, в процессе своей работы, ТНА генерирует пульсации давления, которые распространяются по топливным магистралям и оказывают влияние на работу агрегатов автоматики и на процесс горения в КС. Все это негативно сказывается на работе ЖРД, снижая его надежность. В ведущих конструкторских бюро, занимающихся проектированием ЖРД, непрерывно проводятся исследования, направленные на выявление путей снижения уровней пульсаций давления и вибрации, генерируемых ТНА. Первоначальным этапом разработки методики анализа и снижения уровней вибрации и пульсаций давления в ТНА ЖРД является рассмотрение его конструктивных особенностей, чтобы выработать последовательность действий, необхо-

димых для создания плана исследований. Рассмотрим принципиальную схему типичного для отечественного ракетостроения ТНА ЖРД.

Типичный ТНА ЖРД состоит из турбины 1 (привода), рабочего колеса 2 которое монтируется на одном валу с предвключенной ступенью 3, обеспечивающими подачу компонентов ракетного топлива. (В зависимости от конструкторского решения на одном валу может быть предусмотрена установка как одной предвключенной ступени, так и двух).

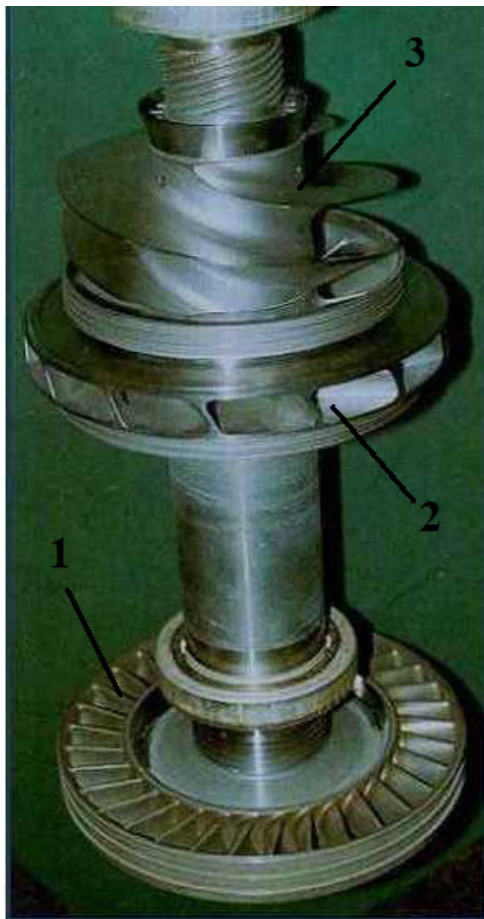


Рис. 1. Типовая конструкция ТНА ЖРД

Предвключенная ступень в составе центробежной представляет собой расположенные последовательно осевое (шнека) и центробежное рабочие колеса. Пример такого ТНА приведен на рис. 1.

Как несложно заметить лопаточная система насоса (шнековое и центробежное колеса), изображенная на рис. 1 имеет много общего по своей конструкции с лопаточными системами, применяемыми в общей промышленности.

Таким образом, группа вопросов связанных с повышенной виброактивностью и высоким уровнем пульсаций давления может рассматриваться совместно, как для насосных агрегатов системы подачи компонентов топлива, используемых в ЖРД, так и для лопаточных насосов, используемых в общем машиностроении. Это обобщение позволяет провести анализ результатов исследований, полученных как для общепромышленных насосов, так и для насосов ЖРД, дать оценку текущему состоянию проблемы и выбрать актуальные направления исследований.

Способы борьбы с пульсациями давления

В отличие от большинства других причин возникновения пульсаций давления, с пульсациями давления на частоте следования лопаток бороться особенно трудно, так как они прямо связаны с процессом повышения полного давления жидкости и с конечным числом лопаток рабочего колеса [2]. Таким образом, необходимо разрабатывать такие конструкции насосов, которые обеспечивают низкие уровни пульсаций давления на частоте следования лопаток, не снижая энергетические характеристики насоса, а именно напор и КПД.

Обычно решить проблему высоких уровней пульсаций давления на лопаточных частотах стараются с помощью применения многоярусных колес или реже, за счет применения боковой улитки, устанавливаемой за рабочим

колесом насоса, а также оптимизации чисел лопаток рабочего колеса и направляющего аппарата.

В работе [3] предлагается устанавливать лопаточную решетку над осевым рабочим колесом насоса. Получившуюся конструкцию авторы называют осевихревой ступенью (Рис. 2) Применение осевихревой ступени согласно результатам теоретических и экспериментальных исследований, позволяет создать принципиально новую конструкцию насосов, с высоким кавитационным запасом и низким уровнем пульсаций давления рабочей жидкости.



Рис 2. Конструкция осевихревой ступени

Рассмотренный выше вопрос о способах борьбы с вибрацией, возникающей за рабочим колесом насоса, говорит о необходимости, еще на этапе проектирования насосного агрегата, учитывать возникающие в нем пульсации давления на частоте следования лопаток. [4]

Выводы

1. Проанализирована типовая конструкция ТНА ЖРД
2. Проанализированы причины возникновения вибрации в насосах.
3. Рассмотрены способы борьбы с пульсациями давления за рабочим колесом насоса.

Список литературы

[1] *Федосеев С.Ю.* Численное моделирование тональных компонент спектра гидродинамической вибрации бустерного насоса ЖРД: диссертация кандидата Технические науки: 05.07.05 / Федосеев Сергей Юрьевич; [Место защиты: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)];. – М., 2016. – 94 с.

[2] *Зотов Б.Н.* Вибрация на лопаточных частотах в центробежных насосах с одинаковым числом лопастей колеса и лопаток отвода. // *Лопастные насосы* / Под ред. Гряנקо Л.П., Папира А.Н. – Л.: Машиностроение, 1975.

[3] *Анкудинов А.А. Панаиотти С.С.* Предвключенное устройство со сверхвысокой всасывающей способностью и низким уровнем низкочастотных пульсаций давления и расхода // Всероссийская научно-техническая конференция с

международным участием «Гидравлические машины, гидропневмоприводы и гидропневмоавтоматика» Современное состояние и перспективы развития (10-11 июня Санкт-Петербург) СПб.:ГП ПУ, 2014. – С. 18-28

[4] *Анкудинов А.А.* Предложения по модернизации конденсатно-питательной системы энергоблоков тепловых электростанций / Анкудинов А.А., Мелашенко В.И., Панайотти С.С. // Инженерный вестник. – 2015. – №8. – С. 14-19. URL: <http://ainjournal.ru/doc/786508.html> (дата обращения 03.11.2020).

Ильдияров Евгений Николаевич – аспирант, студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: 79190370518@yandex.ru

Анкудинов Анатолий Александрович – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: ankudinov051@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ОСЕВОЙ ДЛИНЫ ОСЕВИХРЕВОЙ СТУПЕНИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСА

Принципиально новым способом улучшения энергетических характеристик турбонасоса и улучшения его кавитационных качеств может быть применение в качестве предвключенной первой – осевихревой ступени (ОВС) [2]. Работа ОВС на всех режимах по подаче не сопровождается низкочастотными пульсациями давления. Кавитационные качества ОВС высокие, а работа насоса стабильна даже на «срывной» ветви кавитационной характеристики даже при снижении напора на 20-30%.

В осевихревой ступени основным геометрическим параметром является осевая длина [1]. С помощью её изменения можно варьировать показатели энергетических характеристик ОВС и всего насоса.

На рис. 1 представлены напорные характеристики с различной осевой длиной шнека:

$$l_1 = 120\text{мм}; l_2 = 170\text{мм}; l_3 = 200\text{мм}.$$

При увеличении длины шнека напор возрастает. Зависимость напора и длины практически линейна.

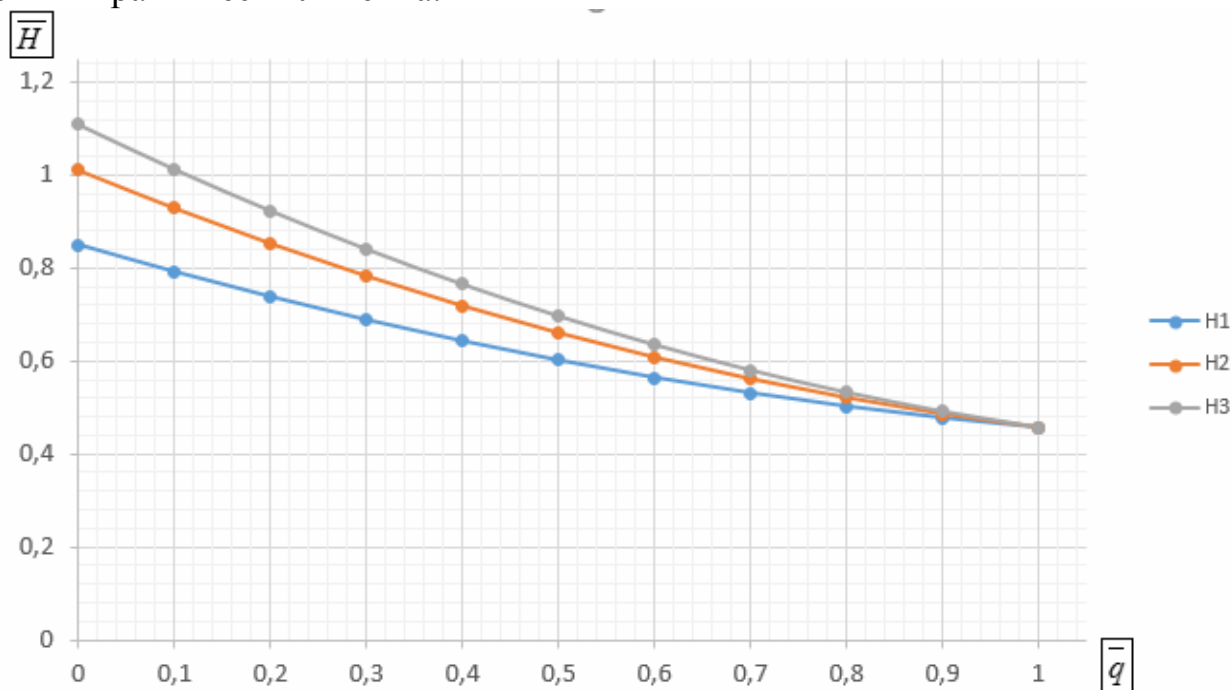


Рис. 1. Напорные характеристики ОВС с различной осевой длиной

Здесь $\bar{H} = \frac{H_{\text{дейст}}}{H_{\text{ОВС}}}$ – относительный напор, $\bar{q} = \frac{q_{\text{дейст}}}{q_{\text{мах}}}$ – относительная подача.

Мощностная характеристика близка к параболе с наибольшим значением потребляемой мощности при $\bar{q} = 0$. На рис. 2 видно, что при увеличении осевой длины мощность увеличивается. Это имеет большое практическое

значение для использования ОВС с приводом постоянной мощности. Используя осевихревую ступень можно получить монотонно падающую форму напорной характеристики и необходимый наклон характеристики потребляемой мощности.

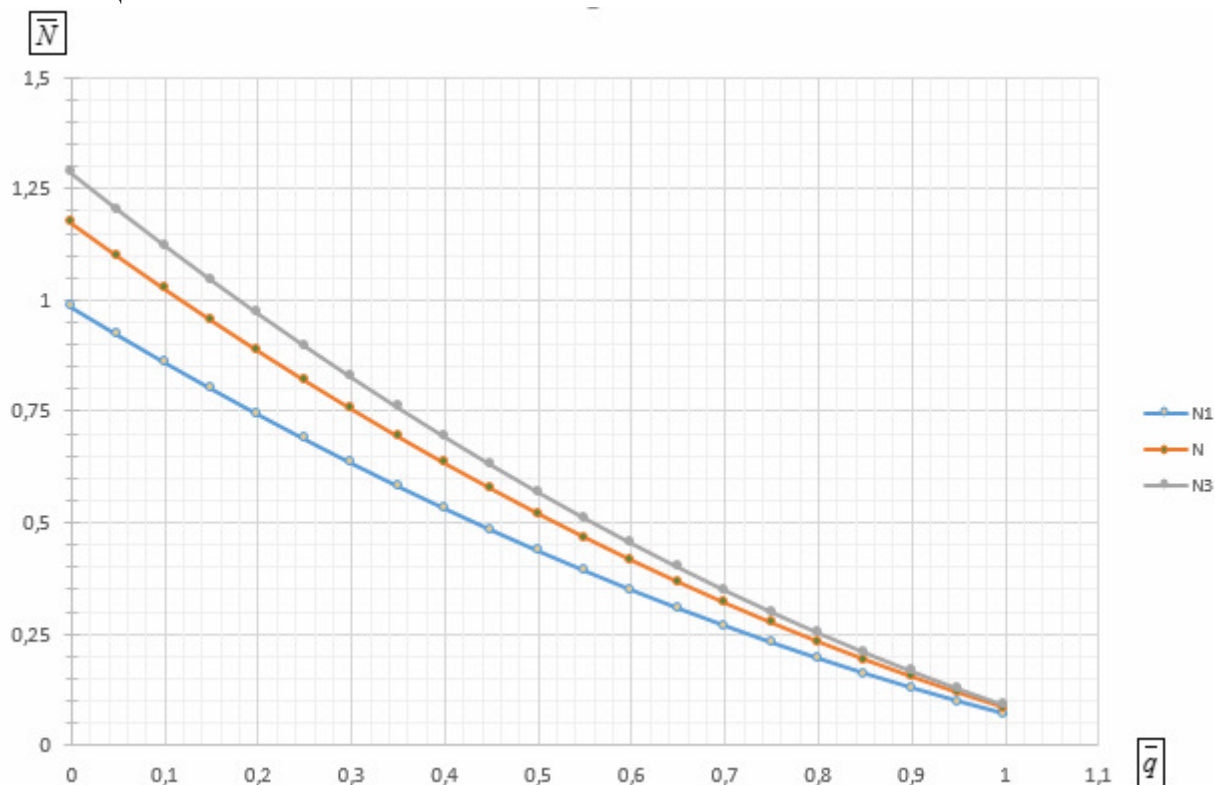


Рис. 2. Мощностные характеристики с различной осевой длиной

Здесь $\bar{N} = \frac{N_{\text{дейст}}}{N_{\text{омп}}}$ — относительная мощность.

Кавитационная характеристика ОВС в сильной степени зависит от осевой длины. Это связано с тем, что кавитационная каверна распространяется по длине канала неподвижной решетки [1]. Попадая в зону большего статического давления, каверна уменьшается в диаметре и по мере течения захлопывается в каналах неподвижной решетки.

Для исследования зависимости кавитационного запаса от осевой длины были взяты экспериментальные кавитационные характеристики с $l_1 = 200$ мм; $l_2 = 265$ мм; $l_3 = 400$ мм [2].

Кавитационные качества с увеличением осевой длины существенно улучшились (рис. 3). ОВС имеет большое значение для использования в насосах с высокими требованиями по кавитационным качествам.

Применение осевихревой ступени дает возможность получать необходимый для системы напор, мощность и кавитационный запас меняя всего лишь геометрические параметры ступени, без изменения скорости, применения дополнительных систем регулирования.

Применение ОВС позволит избежать дополнительных затрат на сложные системы регулирования. Сделает работу насоса надежной и устойчивой.

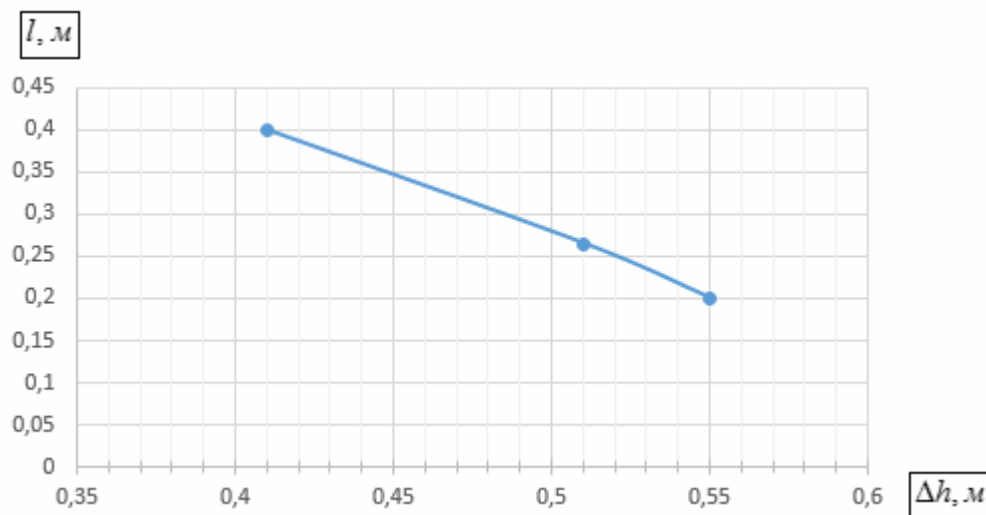


Рис. 3. Зависимость кавитационного запаса от осевой длины

Список литературы

[1]. Анкудинов А.А. Расчет и проектирование предвключенной осевихревой ступени центробежного насоса: Учебное пособие. 2-е изд., стереотип. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 64 с.

[2]. Ващенко А.В., Анкудинов А.А., Чубаров Ф.Л. Турбонасос. Перспективы использования осевихревой ступени в турбонасосе // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности. – №4(1). – С. 54-56.

Ващенко Анастасия Витальевна – КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: sveridova.alenka@yandex.ru

Анкудинов Анатолий Александрович – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: ankudinov051@yandex.ru

Научный руководитель: Анкудинов Анатолий Александрович. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, E-mail: ankudinov051@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ТИПА И КОНСТРУКЦИИ БАНДАЖА НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ВИБРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАКЕТА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ

Проблема обеспечения вибропрочности турбомашин является частью проблемы повышения их надежности. Статистика свидетельствует, что более 60% отказов турбомашин связано с разрушением деталей из-за недостаточной прочности, из них 70% разрушается из-за высокого уровня вибрации. Значительная доля разрушений приходится на лопатки, их бандажи и диски. Несмотря на успехи, достигнутые наукой и техникой в области ликвидации опасных последствий вибраций лопаток и дисков, многие вопросы далеки от окончательного решения [1-5]. Поэтому проблема обеспечения вибропрочности лопаточного аппарата остается актуальной. Возможные пути решения данной проблемы связаны с установкой и оптимизацией бандажных связей разных типов между лопатками. Бандажи повышают общую вибропрочность лопаточного аппарата турбины, хотя и приводят к увеличению потерь энергии в проточной части.

В настоящей работе представлены результаты численных исследований колебаний пакета рабочих лопаток одной из ступеней части низкого давления паровой турбины средней мощности по десяти формам колебаний, с различными вариантами бандажных связей в пакете. Моделирование проводилось при помощи САПР SolidWorks. Были исследованы модели пакетов из 3...5 одинаковых по профилю рабочих лопаток: с интегральным бандажом, с проволочным бандажом и с несколькими типами бандажа одновременно. Созданные модели (рис. 1) были рассчитаны на критические частоты по формам колебаний и исследованы на напряженное состояние.

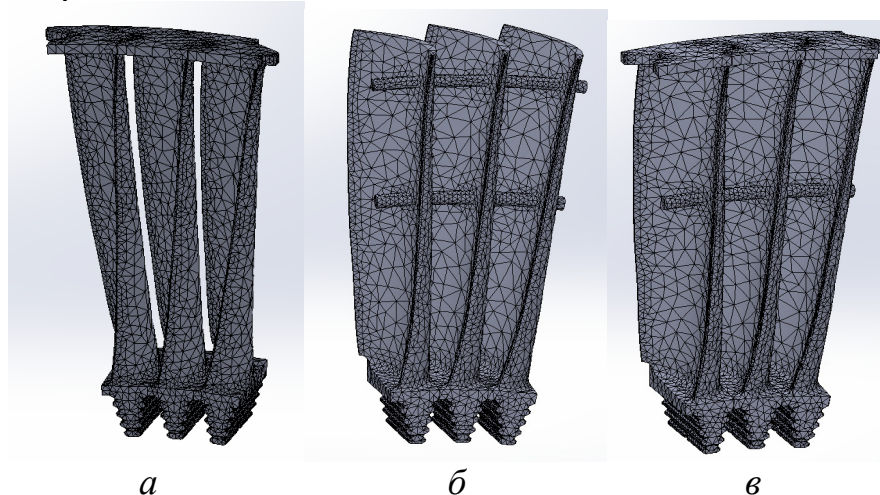


Рис. 1. Пакет из трех рабочих лопаток:

а – с интегральным бандажом; *б* – с проволочным бандажом;
в – со смешанным бандажом

Расчет вибрационного состояния пакета лопаток с каждым видом связей был проведен для получения резонансных частот до десятой формы колеба-

ний включительно. Результаты моделирования для пакета лопаток с интегральным бандажом представлены на рис. 2.

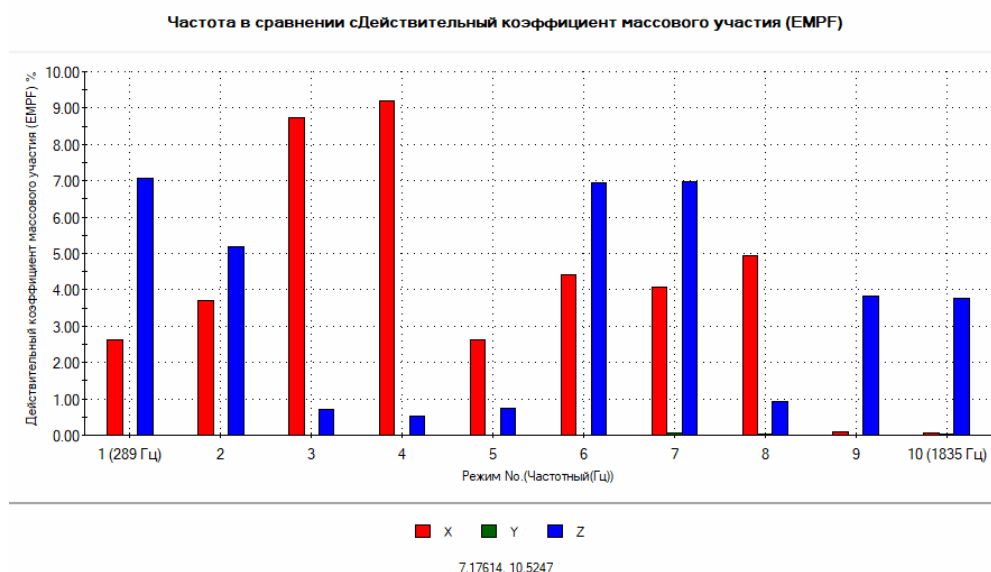


Рис. 2. Действительный коэффициент массового участия по формам и частотам резонансных колебаний для интегрального бандажа

На рисунке действительный коэффициент массового участия (EMPF) представляет собой процент массы системы, задействованной в конкретной форме колебаний. Он предоставляет меру энергии, заключенной в каждом резонансном режиме каждой формы колебаний. Режим с большим коэффициентом EMPF обычно больше влияет на динамические реакции системы.

Результаты моделирования для пакета лопаток с проволочным и смешанным типом бандажа представлены на рис. 3 и 4.

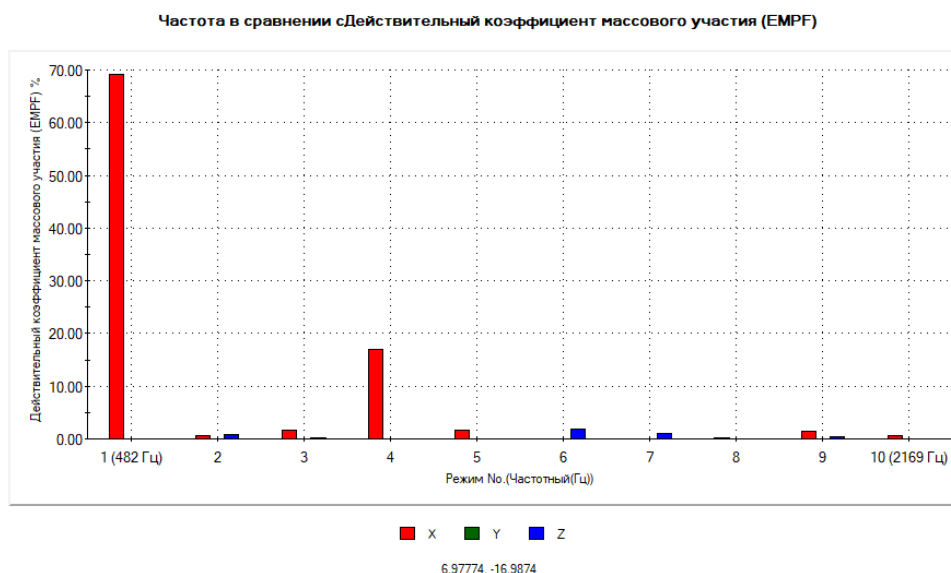


Рис. 3. Действительный коэффициент массового участия по формам и частотам резонансных колебаний для проволочного бандажа

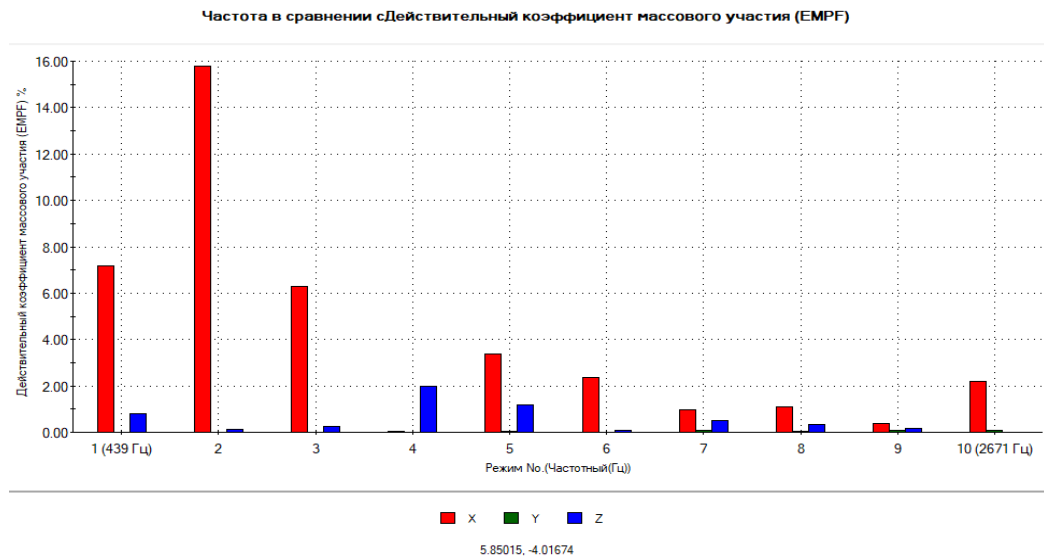


Рис. 4. Действительный коэффициент массового участия по формам и частотам резонансных колебаний для смешенного типа бандажа

Анализ полученных результатов показывает, что наличие бандажных связей разных типов в лопаточном аппарате существенно влияет на его вибрационные характеристики; наблюдается большая неравномерность коэффициента массового участия по формам колебаний для исследованных моделей. Лучшими вариантами, из рассмотренных, показывают себя пакеты лопаток, имеющие интегральный бандаж.

Следующим этапом стало исследование напряженного состояния созданных моделей. Были заданы условия закрепления и нагружения пакета лопаток, приближенные к рабочим, и проведено численное моделирование. Результаты представлены на рис. 5.

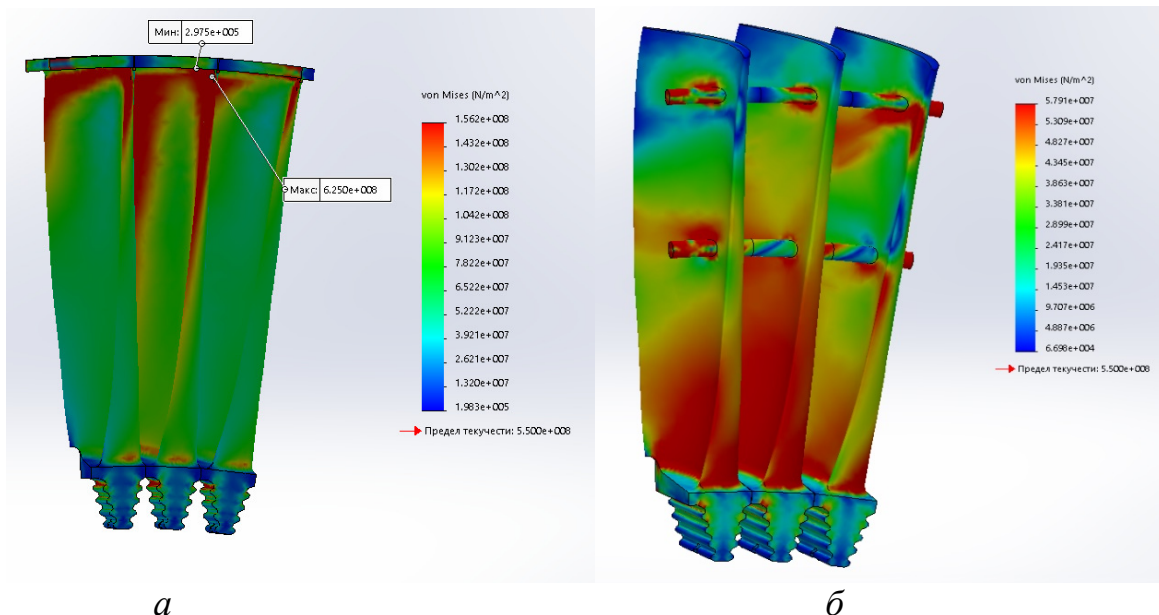
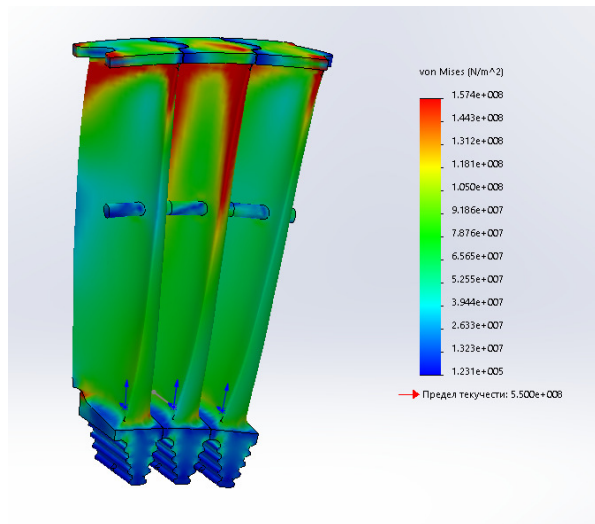


Рис. 5 (начало). Напряжения в пакете рабочих лопаток при различных вариантах бандажа:
a – интегрального; *б* – проволочного;



в

Рис. 5 (окончание). Напряжения в пакете рабочих лопаток при различных вариантах бандажа: в – смешенного

Полученные результаты показывают, что все рассмотренные модели удовлетворяют требованиям по прочности. Максимальные напряжения возникают при использовании смешанного бандажа, а минимальные – при проволочном. В основном, максимальные напряжения напрямую зависят от массы и расположения бандажа. Следовательно, при меньшей массе, которая получается при использовании проволочных связей, получаются наименьшие максимальные напряжения, но при этом, такой тип бандажа создает максимальные концентраторы напряжений в пере лопатки.

По результатам исследования можно сделать вывод, что, из рассмотренных вариантов, применение интегрального бандажа для рабочей решетки ступени части низкого давления паровой турбины является наиболее оптимальным, как по вибрационной прочности, так и по напряжениям.

Список литературы

- [1] *Жинов А.А.* Комплекс программ для расчета осевой паровой турбины по среднему диаметру», 1997.
- [2] *Канаев А.А., Корнеев М.И.* Парогазовые установки. Конструкции и расчеты, 1974. – 240с.
- [3] *Щегляев А.В.* Паровые турбины, т. 1, т. 2, 1993.
- [4] *Жирицкий Г.С.* Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин. – М.: 1968. – 517с.
- [5] *Трухний А.Д.* «Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 539с.

Роман Сергеевич Киселев – студент КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: antropogen1997@yandex.ru

Жинов Андрей Александрович – к.т.н., заведующий кафедрой «Тепловые двигатели и гидромашин» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: azhinov@bmstu.ru

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАВИТАЦИОННЫХ ВИХРЕВЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ

Кавитация для любого насоса является крайне негативным явлением. Когда давление воды понижается до значения давления насыщенного пара – это приводит к вскипанию. В следствии чего, жидкость частично переходит в состояние пара и образуются пузырьки. С повышением давления до уровня выше значения насыщенного пара – пузырьки начинают схлопываться. В результате схлопывания образуются локальные волны давления, которые и характеризуются как явление кавитации [1].

Последствия кавитации – возникновение вибраций на рабочих участках насоса, эрозия металла, из которого изготовлены трубы и любая рабочая область, по которой течет рабочая жидкость. Поэтому данное явление стараются сводить к его минимальному значению, выбирая скорость потока (режим течения) и нередко конструируя перепады трубы, по которой в дальнейшем будет течь жидкость [1].

Устройства, использующие негативные свойства кавитации во благо, называются кавитационными теплогенераторами. Их принцип действия заключается в эффекте нагрева за счет преобразования механической энергии в тепловую.

В результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить при увеличении её скорости, возникает гидродинамическая кавитация. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением, кавитационный пузырёк схлопывается, выделяя при этом энергию. Лучшим примером кавитационного теплогенератора является теплогенератор Потапова (рис. 1).

В свою очередь, прототипом теплогенератора Потапова стала труба Ранка, изобретённая ещё в 1930-х годах, принцип работы которой основывался на использовании вихревого эффекта. Целью трубы Ранка является разделение потока воздуха на горячую и холодную массы, при закручивании этого потока в цилиндрической или конической камере. При этом важно, чтобы поток воздуха в трубке проходил не только в прямом направлении, но и в обратном. Позже учёные стали использовать вместо воздуха воду с целью получения аналогичного результата. Вихревые потоки начинались в так называемой улитке – конструктивной части прибора. В процессе использования трубы Ранка было зафиксировано, что вода после прохождения улиткообразного расширения прибора изменяла свою температуру в положительную сторону.

На это необычное явление, которое сложно было обосновать с научной точки зрения, обратил внимание Потапов, применив его для изобретения теплогенератора с одним небольшим отличием в результате. После прохождения воды через вихрь её потоки не делились сразу на горячий и холодный,

как это было с воздухом в трубе Ранка, а на теплый и горячий. Однако, в современном мире данное устройство не получило широкого применения из-за отсутствия практического обоснования его работы. [2].

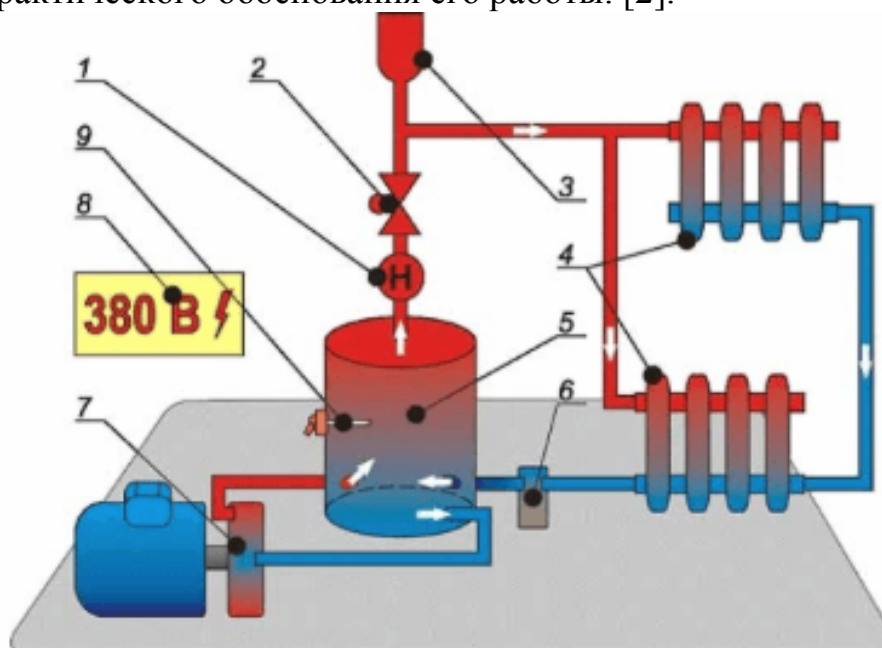


Рис. 3. Теплогенератор Потапова:

1 – циркуляционный насос; 2 – обратный клапан; 3 – расширительный бак;
4 – отопительные приборы; 5 – бак; 6 – грязевик; 7 – вихревой теплогенератор;
8 – шкаф управления; 9 – термодатчик

В конце 90-х годов прошлого столетия была представлена первая совершенно новая эффективная модель кавитационных теплогенераторов, в которой использовался дисковый ротор с несквозными отверстиями на поверхности. Данный прибор изобрёл американский инженер Григгс, усовершенствовав прибор Потапова (рис. 2).

Одним из лучших примеров роторных кавитационных теплогенераторов является Центрифуга Григгса, принцип работы которой заключается в следующем: данное устройство заполняется водой, и ось, приводимая в движение электродвигателем, начинает вращаться. Определённое достоинство конструкции — единственный привод служит насосом в системе отопления и нагревателем жидкой фазы. Особый интерес вызывают ячейки, расположенные по границе корпуса. Через данные ячейки проходила жидкость, которая смачивала стенки и как бы прилипала к ним, после чего, вследствие центробежной силы, начинала порционно вылетать из барабана, создавая удар со стеной в несколько десятков атмосфер (в зависимости от скорости вращения ротора). Нагрев происходит за счёт сил трения в приповерхностном слое и кавитации, которая образовывалась за счёт ударов жидкости [3].

Такие теплогенераторы роторного типа имеют достаточно простую конструкцию, однако при этом они сложны в применении, поскольку нуждаются в точной калибровке, надёжных уплотнениях и надлежащем соблюдении геометрических параметров в ходе работы. Это обуславливает трудность

эксплуатации. Несмотря на то, что продуктивность данной модели на 25% превышает продуктивность классических нагревателей, роторные теплогенераторы обладают низким сроком службы – от 2 до 4 лет из-за последствий длительного влияния кавитации на корпус и детали. Кроме того, вращающийся элемент создаёт большую шумовую нагрузку.

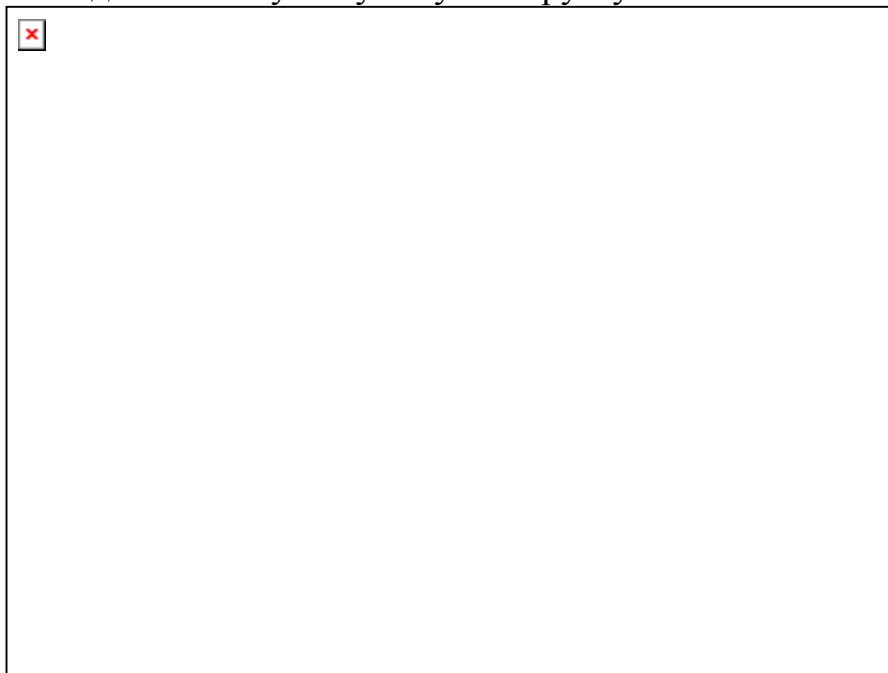


Рис. 4. Центрифуга Григгса

Список литературы

[1]. *Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М.* Основы гидравлики и теплотехники [Электронный ресурс]: учебное пособие / Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. – СПб.: Лань, 2018. – 352 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/3808>

[2]. *Фоминский Л.П.* Роторные генераторы дарового тепла: Справочник / Фоминский Л.П. – Черкассы: Эко-Плюс, 2010. – 346 с.

[3]. *Тарнопольский А.В.* Возможности применения вихревых теплогенераторов в технологических процессах // Промышленная энергетика. – 2007. – №9 – С. 21-22.

Богатырёв Андрей Андреевич – студент, бакалавр КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Кафедра: «Тепловые двигатели и гидромашин». E-mail: bogatyryov.andrew@yandex.ru

Анкудинов Анатолий Александрович – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: ankudinov051@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАЗОРА МЕЖДУ РОТОРОМ И СТАТОРОМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕВОГО НАСОСА

Вихревые насосы обычно применяют при необходимости создания большого напора при малой подаче. Их используют для водоснабжения сельских домов и для полива небольших садов и огородов. Благодаря простой конструкции рабочих органов таких насосов возможно применение химически стойких пластмасс, а также металлов, плохо поддающихся механической обработке и отливке, поэтому вихревые насосы применимы для перекачивания кислот, щелочей и других химически агрессивных реагентов [1]. Они пригодны для перекачивания легколетучих жидкостей (бензина, спирта, эфира и т. д.). Из достоинств вихревых насосов можно отметить отсутствие пульсаций давления на всех режимах, высокие кавитационные качества, малые габариты, а, следовательно, низкую стоимость [2].

Целью данной работы является исследование влияния зазора между ротором и статором на характеристики вихревого насоса.

На рис. 1 изображена конструкция насоса вихревого типа с плоским ротором с глухими отверстиями на торцах и неподвижным статором с глухими отверстиями [3]. Диаметр ротора равен 250 мм, а его ширина 70 мм. Диаметр и глубина глухих отверстий составляет 20 мм. Во входной патрубке насоса подается несжимаемая жидкость – вода, давление на входе атмосферное, а на выходе – 150 кПа. Частота вращения ротора составляет 1500 об/мин.

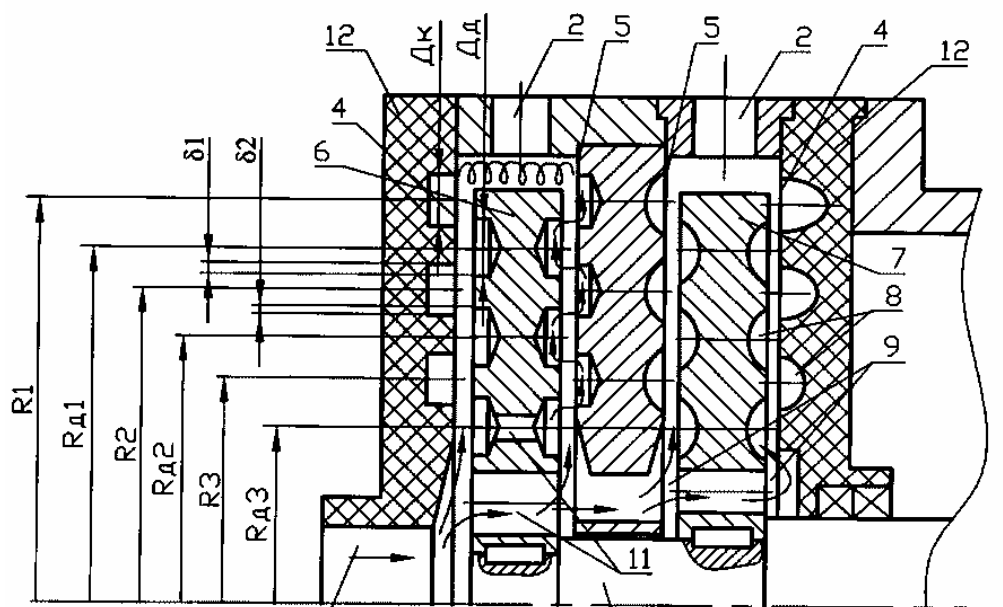


Рис. 1. Конструкция насоса вихревого типа с плоским ротором

Результаты численного моделирования при изменении зазора между ротором и статором обрабатывались средствами постпроцессора ANSYSCFX-Post и представлены в виде цветовых полей распределения давления (рис. 2).

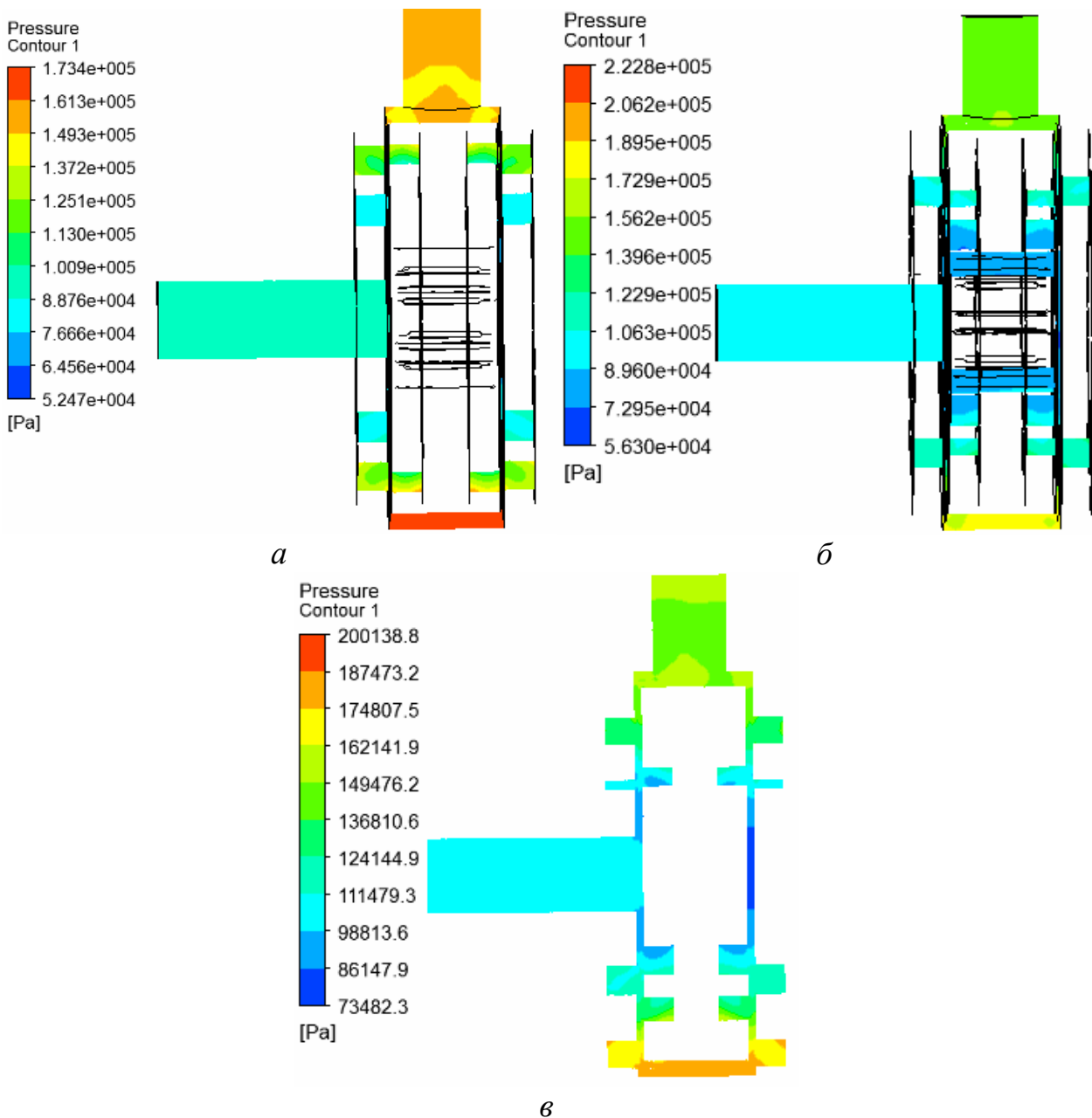


Рис. 2. Результаты моделирования течения жидкости в проточной части насоса вихревого типа при различных значениях зазора между ротором и статором:

a – 2 мм; *б* – 3 мм; *в* – 5 мм

Из результатов моделирования видно, что при изменении значения зазора между ротором и статором при сохранении напора значения объемного расхода различаются. Объемный расход для зазора равного 2 мм составил 2,144 л/с; 3 мм – 2,368 л/с; 5 мм – 2,429 л/с. Решение системы при заданном перепаде давления возможно получить при значениях зазора между ротором и статором до 7 мм. Таким образом, при увеличении зазора между ротором и статором от 2 до 5 мм подача насоса увеличивается.

Список литературы

[1] Байбаков О.В. Вихревые гидравлические машины. — М.: Машиностроение, 1981. — 197 с.

[2] *Каримулина Е.В., Шитохина О.Г.* Применение вихревого течения в технике // Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 19–21 ноября 2019 г. – Т.1. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. – С.200–201.

[3] *Насос-теплогенератор*: А.с. 2319911 РФ /Л.Н. Бритвин Заявл. 25.08.2006; опубл. 20.03.2008.

Каримулина Елена Владиславовна – КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: lena.sirkina98@gmail.com

Шитохина Ольга Григорьевна – доцент, канд. физ.-мат. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: bonkog@mail.ru

Научный руководитель: Шитохина Ольга Григорьевна. КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: bonkog@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ РЕГЕНЕРАЦИИ НА ГАБАРИТЫ ТРУБЧАТОГО РЕКУПЕРАТОРА ГТУ

Газотурбинные установки (ГТУ) в настоящее время имеют широкое применение в технике. Газотурбинные двигатели применяются в авиации, на судах различного назначения. Большое количество ГТУ применяется в качестве привода нагнетателей, например, на газоперекачивающих станциях магистральных газопроводов. Все большее применение находят ГТУ в энергетике и автомобильном транспорте. Большинство используемых в настоящее время ГТУ работают по простейшей схеме и включают три основных элемента: компрессор (К), камеру сгорания (КС) и турбину (Т). Эти установки отличаются малой массой и компактностью, но имеют низкий КПД и по экономичности не могут конкурировать с паротурбинными установками и дизелями. Повышение экономичности ГТУ наряду с повышением начальной температуры газа перед турбиной возможно за счет применения регенерации, а также при усложнении схемы с введением промежуточного охлаждения и подогрева рабочего тела [1].

Малоразмерные ГТУ (МГТУ) применяются для генерации электроэнергии и тепла в случаях использования на ТЭЦ малых посёлков, объектов нефтеперерабатывающей промышленности, а также обеспечения электроэнергией некоторых загородных домов.

Благодаря использованию теплообменника (рекуператора) в конструкции турбодвигателя, КПД МГТУ двигателя можно значительно увеличить [2].

В ходе данной работы преследовалась следующая цель: провести предварительное обоснование выбора степени регенерации при проектировании рекуператора для отечественной малоразмерной ГТУ, исходя из оценки его габаритных размеров.

Для решения данной задачи был использован язык программирования Python [3]

Достоинства языка Python:

- Обладает большим количеством мощных библиотек.
- Общедоступен и бесплатен.
- Имеется модуль CoolProp для расчёта теплофизических свойств многих веществ, в том числе входящих в продукты сгорания ГТУ.

После изучения основных плюсов языка Python, можно перейти к следующему этапу: исследование зависимости площади поверхности теплообменатрубчатого рекуператора от степени регенерации [4]. Исходные данные и интерфейс программы представлен на рис.1.

Расчёт трубчатого рекуператора

Параметры теплоносителей на входе в рекуператор:

Параметры воздуха:	Параметры продуктов сгорания:
Расход: 1.968 , кг/с	Расход: 2.100 , кг/с
Давление: 0.557 , МПа	Давление: 0.11 , МПа
Температура: 200 , °С	Температура: 510 , °С
Средняя скорость: 40.0 , м/с	Средняя скорость: 30.0 , м/с
Потери давления: 0.9 , %	Потери давления: 3.7 , %

Диаметр трубок:

Наружный: 25 , мм	Внутренний: 21 , мм
-------------------	---------------------

Относительный шаг трубок: 1.32

Козф. теплопров. трубок: 40 , Вт/(м·К)

Зависимость площади поверхности теплообмена от степени регенерации

Зависимость пути продуктов сгорания от степени регенерации

Зависимость объёма трубного пространства от степени регенерации

Рис.1. Исходные данные для расчета рекуператора

В качестве исходных данных взяты параметры для цикла двигателя ГТД 0,2 с номинальной мощностью 200 кВт производства ПАО «Кадви», г. Калуга, Россия[5].

Так как целью проекта является проектирование именно компактного одноходового по продуктам сгорания и четырёхходового по воздуху теплообменника, необходимо представить его приблизительные габариты. Для этого в программу заложена возможность построения зависимости объема трубного пространства и длины трубок от степени регенерации. Результирующий график для рассчитанного объема трубного пространства рекуператора представлен на рис.3.

По данному графику можно увидеть, что после отметки степени регенерации в 0,6 объем трубного пространства начинает резко возрастать.

Для получения более компактного варианта теплообменного аппарата было решено создать его с длиной трубок, подходящей по габаритам к исходной ГТУ. С этой точки зрения представляется целесообразным выбрать для схемы ГТУ с рассматриваемым рекуператором степень регенерации равной 0,5. При этом длина трубок получается примерно равной 1 м.

Разработанную программу рекомендуется также использовать для расчёта выше рассмотренных габаритных характеристик трубчатых рекуператоров для любых ГТУ.

Зависимость площади поверхности теплообмена от степени регенерации

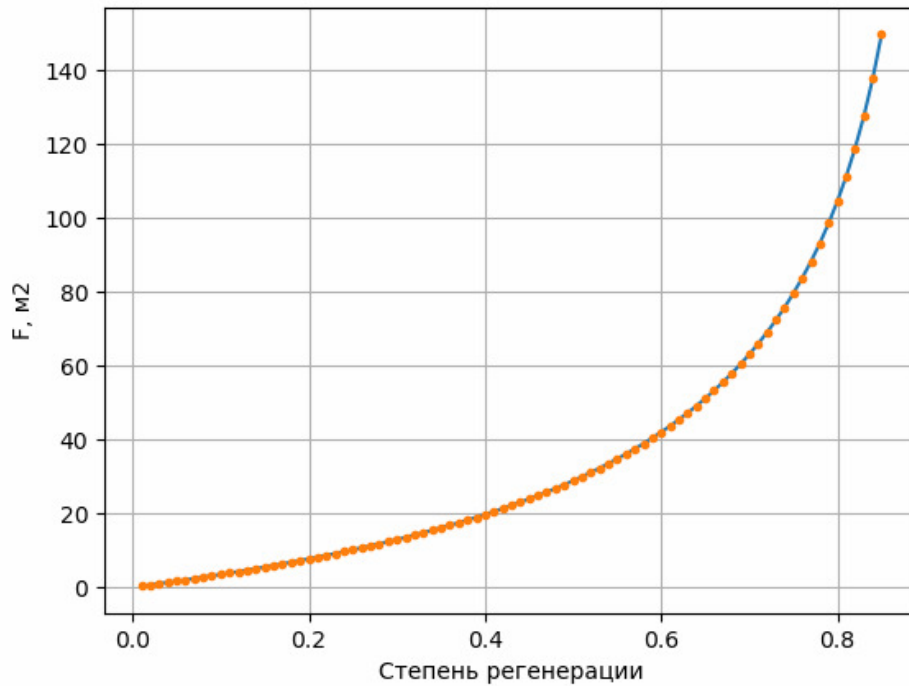


Рис.2. Зависимость площади поверхности теплообмена от степени регенерации

Зависимость объёма трубного пространства от степени регенерации

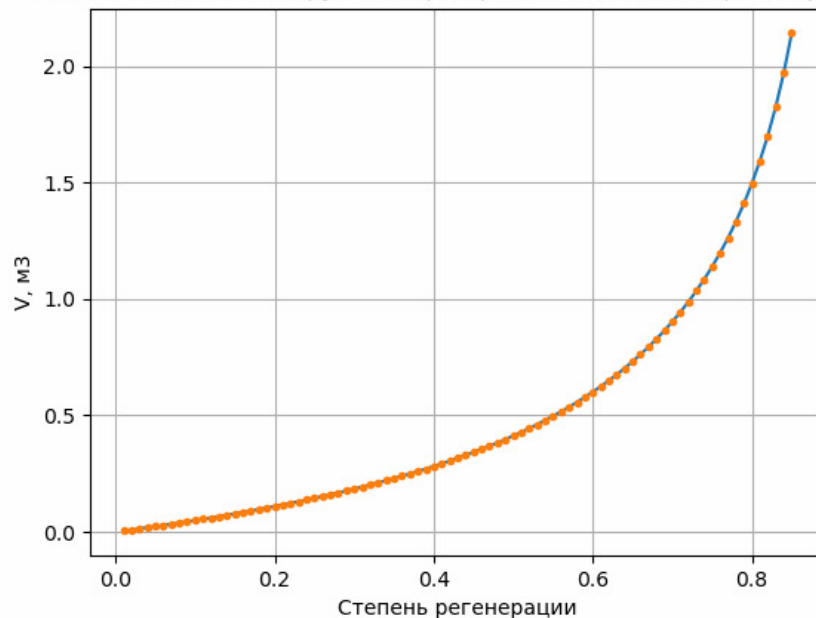


Рис.3. Зависимость объёма трубного пространства от степени регенерации

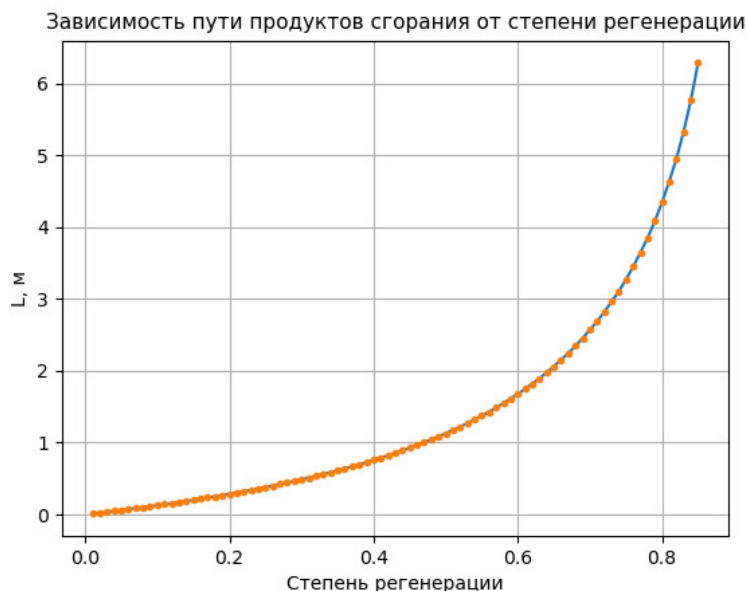


Рис.4. Зависимость длины трубок от степени регенерации

Список литературы

1. Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Анализ массивов данных с использованием библиотеки Pandas для Python. // Научное обозрение. Технические науки. 2020. № 4. С. 41-45.
2. Горение топлива и горение газа. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kazgerm.kz/spravochnik-sug/318-gorenie-topliva> (дата обращения: 17.10.2020). 9
3. CoolProp. Low Level Interface. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.coolprop.org/coolprop/LowLevelAPI.html> (дата обращения: 17.10.2020).
4. Аронсон. К.Э и др. Теплообменники энергетических установок. Учебное электронное издание. [Электронный ресурс]. URL: <https://openedu.urfu.ru/files/book/> (дата обращения: 17.10.2020).
5. ПАО «Кадви». Силовой модуль ГТД 0,2. [Электронный ресурс]. URL: <http://gtes.kadvi.ru/power-module/silovoj-modul-gtd-02/> (дата обращения: 17.10.2020).

Максим Сергеевич Даньшин - студент, магистрант КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: mdanshin37@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОДАЧИ В ПЛАСТИНЧАТЫХ НАСОСАХ

Работа пластинчатых насосов часто сопровождается неравномерностью подачи. Существует множество факторов влияющих на неравномерность подачи жидкости, в данной работе рассмотрен один из методов уменьшения неравномерности.

При вращении ротора объем рабочей жидкости, заключенный в камере, перемещается от окна всасывания распределительного диска к окну нагнетания. При соединении камеры с окном нагнетания рабочая жидкость, находящаяся в напорной магистрали под давлением P_n , устремляется в открывшуюся камеру, заполненную рабочей жидкостью при низком давлении $P_{вс}$, и сжимает её. Этот процесс отрицательно влияет на равномерность подачи и сопровождается акустическим эффектом – характерным щелчком, который тем сильнее, чем выше давление в полости нагнетания и скорость перехода камеры из полости всасывания в полость нагнетания. Последовательное чередование таких щелчков вызывает шум при работе насоса [2].

Повышение равномерности подачи и уменьшение шума достигаются путем выполнения на распределительных дисках прорезей треугольного сечения (рис 1.)

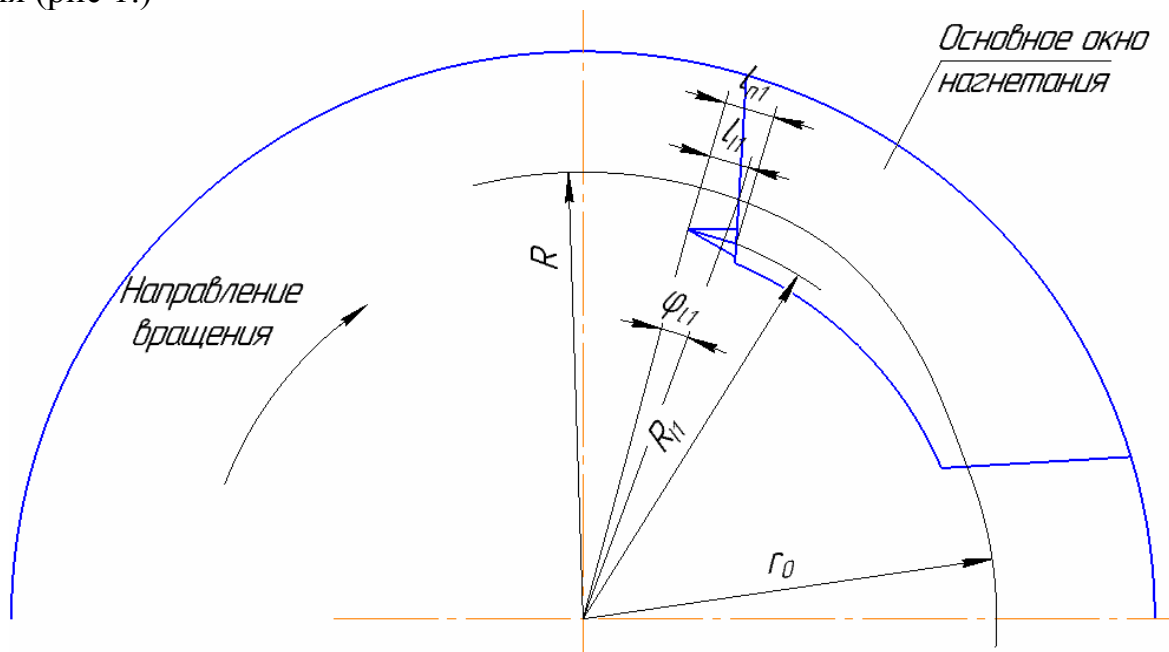


Рис. 1. Схема расположения прорези у основного окна нагнетания распределительного диска

Здесь R – наибольший радиус статора; r_0 – наименьший радиус статора.

Размеры этих прорезей рассчитывают по уравнению изменения объема рабочей жидкости в камере:

$$(\Delta V_{I1})_k = \frac{P_{k1}}{E_{ж}} V_{I1}, \quad (1)$$

где P_{k1} – давление в камере между пластинами; $E_{ж}$ – модуль упругости рабочей жидкости.

Преобразовывая уравнение (1) и дифференцируя его по t , получим:

$$\frac{dp_{k1}}{dt} = \frac{E_{ж}}{V_{I1}} \cdot \frac{d(\Delta V_{I1})_k}{dt} \quad (2)$$

Если пренебречь перетеканием рабочей жидкости через зазоры, то скорость изменения давления $\frac{dp_{k1}}{dt}$ в камере определится расходом рабочей жидкости, поступающей из полости нагнетания через прорезь в распределительном диске в камеру между пластинами [1]. Этот расход определяется уравнением:

$$q = \mu F \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_n - p_{k1})} \quad (3)$$

где μ – коэффициент расхода, установленный экспериментально; для прорези треугольного сечения $\mu = 1,29$; F – площадь проходного сечения прорези; n – скорость вращения ротора в об/мин; $\varphi_{I1} = \frac{180l_{I1}}{\pi R_{I1}}$ – угол, на котором расположена рабочая часть прорези; t – время поворота ротора на угол φ ; a_{I1} – ширина исследуемой прорези.

Так как $\frac{d(\Delta V_{I1})_k}{dt} = q$, то

$$\frac{dp_{k1}}{dt} = \frac{E_{ж}}{V_{I1}} 9\mu \sqrt{\frac{6g}{\gamma} \frac{a_{I1}^2 n^2}{(\varphi_{I1})^2} t^2 \sqrt{p_{k1} - p_n}} \quad (4)$$

Интегрируя это уравнение, после преобразований получим

$$p_{k1} = p_n - \left[\sqrt{p_n} - \frac{\mu E_{ж}}{144} \sqrt{\frac{6g}{\gamma} \frac{a_{I1}^2}{(\varphi_{I1})^2} V_{I1} n} (\varphi)^3 \right]^2 \quad (5)$$

Для определения размера прорезей следует принять в уравнении (5) $p_{k1} = p_n = p_{n\max}$; $\varphi = \varphi_{I1}$ из полученного таким образом уравнения определить искомую величину a_{I1} (ширина прорези) Для насосов, у которых прорези выполнены в обоих дисках (с двух сторон камеры), следует вместо V_{I1} , подставлять $\frac{V_{I1}}{2}$ тогда:

$$a_{I1} = 6^4 \sqrt{\frac{2}{3} \frac{\gamma}{g \mu^2 E_{ж}^2}} \sqrt{\frac{n V_{I1} \sqrt{p_{n\max}}}{\varphi_{I1}}} \quad (6)$$

Необходимая ширина прорези увеличивается при увеличении давления нагнетания и объема камеры и при уменьшении длины прорези. Полная длина прорези l_{n1} определяется по уравнению:

$$l_{n1} = \frac{2R}{\cos \omega_n} \sin \frac{e - \beta}{2} \sin \frac{\beta}{2} \quad (7)$$

где e – угол, на котором расположена переключка окнами в распределительном диске; ω_n – угол между направлением прорези и перпендикуляром к вертикальной оси симметрии диска.

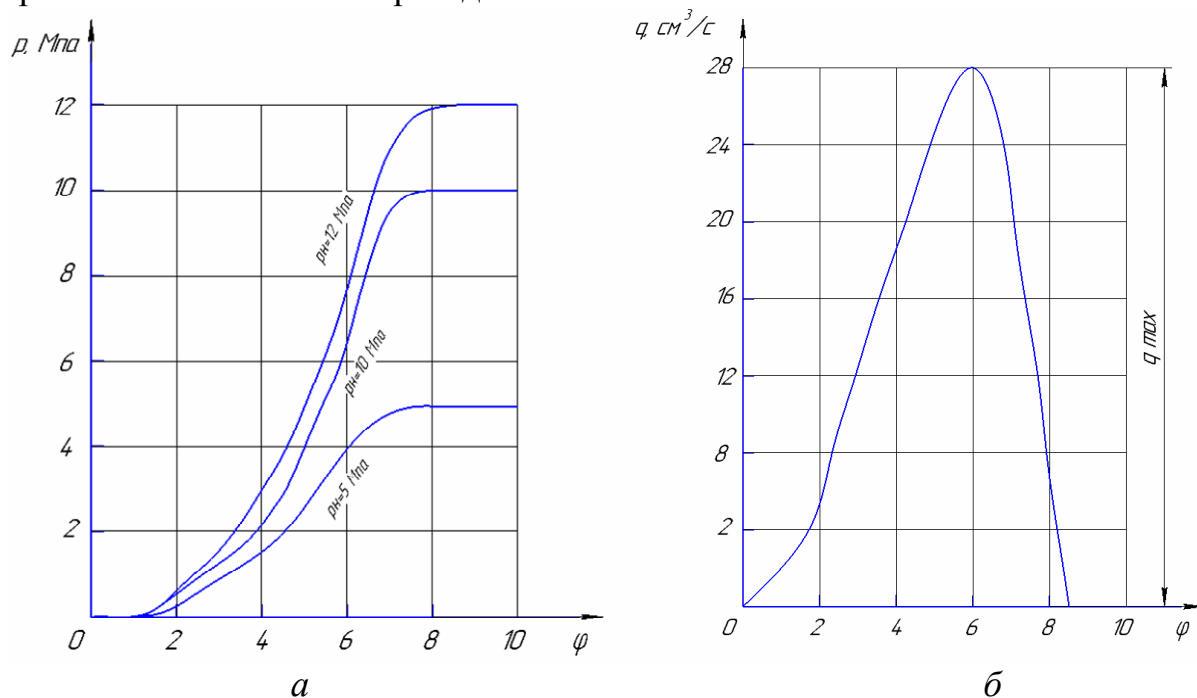


Рис. 2. *a* – повышение давления в камере между пластинами (при втекании рабочей жидкости через прорезь) в зависимости от угла поворота φ ; *б* – зависимость мгновенной подачи рабочей жидкости q , втекающей в камеру между пластинами через прорезь, от угла φ поворота ротора

Используя прорезь в конструкции распределительного диска пластинчатого насоса двукратного действия, можно снизить неравномерность подачи. На рис. 2, *б* представлена зависимость мгновенной подачи от угла поворота ротора с использованием прорези. Из рисунка видно, что изменение подачи имеет плавный характер это способствует снижению шума и колебаний от щелчков, возникающих при переходе камеры из полости всасывания в полость нагнетания.

Список литературы

- [1]. Башута Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник. 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
- [2]. Зайченко И.З., Мышлевский Л.М. Пластинчатые насосы и гидромоторы. –М.: Машиностроение, 1970. –229 с.

[3]. *Машиностроительный* гидропривод: учеб. пособие / Под ред. В.Н. Прокофьева. – М.: Машиностроение, 1978. – 495 с.

Волков Глеб Владимирович – студент КФ МНТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: gleb4ikvolk@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОДАЧИ В ШЕСТЕРЕННЫХ НАСОСАХ

В сельскохозяйственной технике (тракторах, самоходных машинах, комбайнах, прицепных гидрофицированных машинах) в подавляющем большинстве используются шестеренные насосы типа НШ. Как известно, шестеренные насосы не обладают идеально постоянной подачей рабочей жидкости, подача насоса является величиной переменной, зависящей от угла поворота шестерен, т.е. $Q = f(\varphi)$ что связано с постоянно изменяющимся объемом в нагнетательной полости насоса из-за поочередного вхождения зубьев в зацепление.

В сравнении с пластинчатыми насосами подача рабочей жидкости с шестеренными насосами значительно менее равномерна.

Если у шестеренного насоса уменьшить число зубьев, одновременно увеличивая их угол наклона, то в конце концов шестерни превращаются в винты и из шестеренного насоса получается винтовой насос. При этом подача рабочей жидкости происходит в осевом направлении, причем без изменения геометрического объема камер, вследствие чего коэффициент неравномерности подачи $\delta_{Т.Н.} \approx 0$.

С учетом изложенного средняя величина теоретической подачи насоса, шестерни которого имеют одинаковое число зубьев, может быть определена уравнением, л/мин:

$$Q_{Т.Н.} = \frac{\pi D_{\partial} (D_2 - D_{\partial}) B n}{10^3} \quad (1)$$

где D_{∂} и D_2 – диаметр делительной окружности и окружности головок в см; B – ширина шестерни в см; n – число оборотов ведущей шестерни в минуту.

Эта же формула может быть представлена в следующем виде, л/мин:

$$Q_{Т.Н.} = \frac{\pi s (D_2 - s) B n}{10^3} \quad (2)$$

где s – расстояние между центрами шестерен в см.

Формулы (1) и (2) могут быть приведены к следующему виду, л/мин:

$$Q_{Т.Н.} = \frac{2\pi m^2 B n (z + 2k)}{10^3} \quad (3)$$

где m – модуль шестерни в см; z и k – число зубьев и коэффициент корригирования.

Исследование подачи шестеренного насоса с учетом бокового зазора между зубьями и защемленного объема рабочей жидкости между ними позволило получить более точную формулу для определения подачи, л/мин:

$$Q_{Т.Н.} = \frac{2\pi m^2 B n (z + 2k + 0.276)}{10^3} \quad (4)$$

Сравнивая формулы (3) и (4), можно видеть, что они весьма мало отличаются друг от друга. Из формулы (3) можно заключить, что при некотором заданном расстоянии между центрами с подача насоса будет тем больше, чем больше диаметр головок D_e .

Уменьшение числа зубьев шестерен, повышающее компактность насоса, однако, в то же время отрицательно влияет на неравномерность подачи, увеличивая коэффициент неравномерности.

Для определения геометрического коэффициента неравномерности подачи $\delta_{т.н.}$ надо установить зависимость изменения подачи насоса от угла φ поворота ведущей шестерни.

Вычисление значения Q , являющегося функцией угла поворота φ , с последующим дифференцированием полученного выражения по времени t позволяет представить уравнением мгновенной подачи насоса в следующем виде:

$$\frac{dV}{dt} = \omega \rho^2 B (\operatorname{tg}^2 \alpha_e - \operatorname{tg}^2 \alpha_k - (\operatorname{tg} \alpha_k - \varphi)^2) \quad (5)$$

где V – объем камеры; ρ – радиус основной окружности.

$$\operatorname{tg} \alpha_e = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{r_e}\right)^2}}{\frac{\rho}{r_e}};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{2\rho}{s}\right)^2}}{\frac{2\rho}{s}};$$

$$r_e = \frac{D_e}{2}.$$

График зависимости мгновенной подачи $\frac{dV}{dt}$ от угла φ , построенный по уравнению (5), приведен на рисунке 1. Максимального значения мгновенная подача достигает при $\varphi_{\max} = \operatorname{tg} \alpha_k$, а минимального – при $\varphi_{\min} = \operatorname{tg} \alpha_k - \frac{\pi}{z}$.

Следовательно,

$$Q_{\max} = \left(\frac{dV}{dt}\right)_{\max} = \omega \rho^2 B (\operatorname{tg}^2 \alpha_e - \operatorname{tg}^2 \alpha_k) \quad (6)$$

$$Q_{\min} = \left(\frac{dV}{dt}\right)_{\min} = \omega \rho^2 B \left(\operatorname{tg}^2 \alpha_e - \operatorname{tg}^2 \alpha_k - \frac{\pi^2}{z^2} \right) \quad (7)$$

На основании уравнений (3), (6) и (7) коэффициент неравномерности подачи, вызываемый геометрическим изменением объемов камер,

$$\delta_{Т.Н.} = \frac{2,17}{z + 1,276} \quad (8)$$

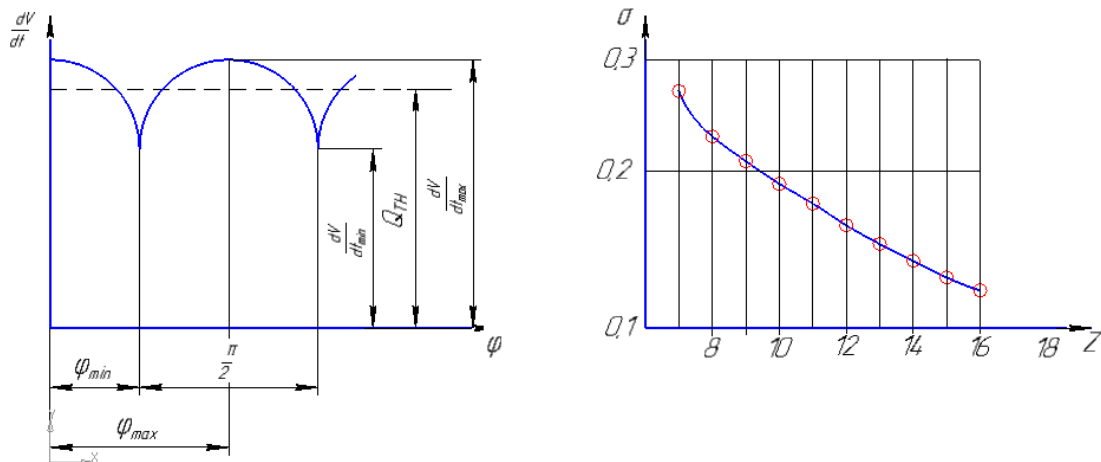


Рис. 1. График зависимости мгновенной подачи и график зависимости коэффициента неравномерности от числа зубьев шестерен

Графическое изображение позволяет заключить, что коэффициент неравномерности $\delta_{Т.Н.}$ значительно увеличивается при уменьшении числа зубьев z . Можно убедиться, что шестеренные насосы обладают наибольшей неравномерностью подачи $\delta_{Т.Н.}$, что является их существенным недостатком. Поэтому не следует применять шестерни числом зубьев менее 12 и при этом числе зубьев достигается неравномерность, тем более что у шестерен с меньшим числом зубьев они в результате корригирования чрезмерно заостряются.

Список литературы

- [1]. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем / Т.М. Башта. - М.: Книга по Требованию, 2012. - 167 с.
- [2]. Юдин Е.М. Шестеренные насосы. Основные параметры и их расчёт», / Е. М. Юдин, 1964. – 237 с.
- [3]. Буренин В.В., Дронов В.П. Конструкции насосов для криогенных жидкостей – 1981. – 240 с.
- [4]. Гряנקо Л.П., Исаев Ю.М. Гидродинамические и гидрообъемные передачи в трансмиссиях транспортных средств: Учебное пособие. – СПб, 2000. – 265 с.

Лычагин Алексей Сергеевич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: lychagin.96@mail.ru

Савин Владимир Юрьевич - доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: savin.study@yandex.ru

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПРОФИЛЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС ШЕСТЕРЕННЫХ НАСОСОВ

В современном машиностроении широко применяются шестеренные насосы. Их преимуществом среди объёмных насосов является компактность, простота конструкции, надёжность в работе и сравнительно высокий КПД.

Шестеренный насос – это насос объёмного типа с рабочим органом в виде двух шестерён [2]. При вращении шестерён, жидкость поступает из полости всасывания во впадины между зубьями и перемещается в напорную полость. Широкое распространение данные насосы получили при подаче нефтепродуктов и других жидкостей без абразивных примесей.

Проанализируем существующие на данный момент основные типы цилиндрических зубчатых передач внешнего и внутреннего зацепления, отличающиеся профилем зубьев и технологией их изготовления. Проведём их сравнительный анализ, определим достоинства и недостатки:

1. Круговой профиль зуба (передача Новикова)
2. Циклоидальный профиль зуба
3. Эвольвентный профиль зуба

Среди всего многообразия зубчатых колёс можно выделить два основных профиля: эвольвентный и циклоидальный. Профиль в этих колесах образуются методом обкатки зубчатой рейки по основной окружности. Профилирование от зубчатой рейки является универсальным способом построения профиля зубьев, а в случае смещения рейки относительно основной окружности становится возможным проводить корригирование формы зубьев, добиваясь оптимальных показателей для различных эксплуатационных условий.

Круговой профиль зуба или зацепление Новикова. Зубья колёс в торцевом сечении очерчены окружностями близких радиусов. Площадка контакта зубьев перемещается не по профилю зуба, как в прямозубом эвольвентном зацеплении, а вдоль него [4].

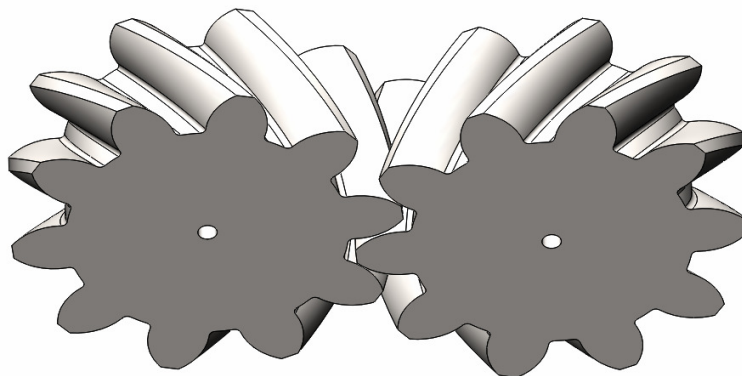


Рис. 1. Зацепление Новикова

Проанализировав данный профиль, был выявлен ряд, таких как наличие осевых усилий, которое можно устранить использованием шевронных колёс. Угол наклона зубьев в таких колёсах достигает 25° . Но при таких больших усилиях не сохраняется уплотняющий контакт по всей ширине зубьев в течении всего периода их зацепления.

Циклоидальный профиль зуба. В данном зацеплении профили зубьев выполнены по циклоидальным кривым. Зацепление характеризуется плавностью контура зуба и возможностью получения профиля с любым числом зубьев (в отличии от эвольвентного). Одним из существенных недостатков является более высокая чувствительность и зависимость от изменения межосевого расстояния, а также меньшая прочность зуба на изгиб по сравнению с эвольвентным [1].

Эвольвентный профиль зуба. Определенная форма зуба, которая очерчивается по эвольвенте окружности, называется эвольвентным профилем. Эвольвентная зубчатая передача получила наибольшее распространение, так как применяется в прямозубых передачах с внешним зацеплением [3].

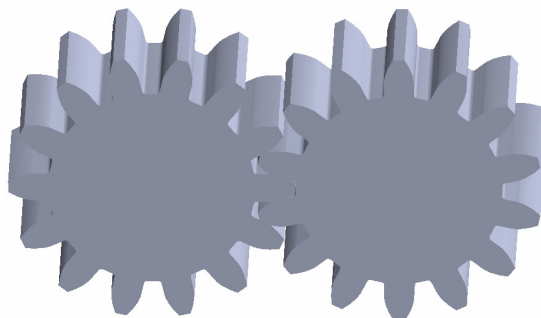


Рис. 2. Эвольвентное зацепление

Стоит отметить, что при уменьшении числа зубьев z уменьшается и толщина зуба у основания и вершины, а также увеличивается кривизна эвольвентного профиля. Такое изменение формы приводит к уменьшению прочности зуба.

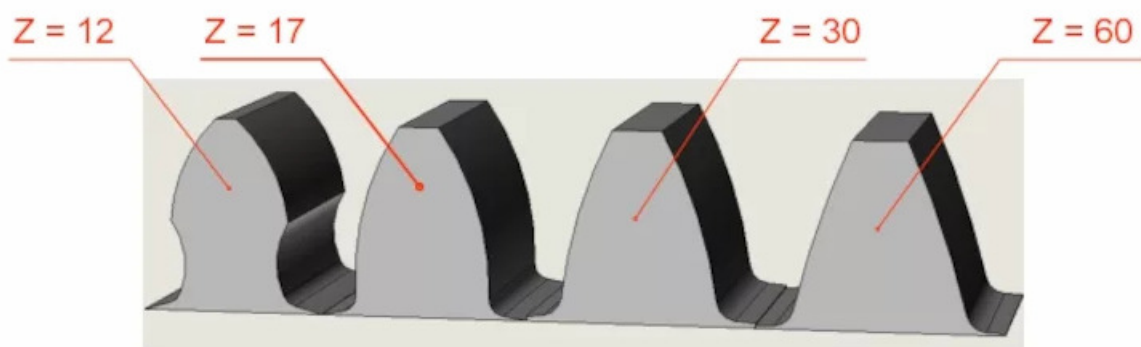


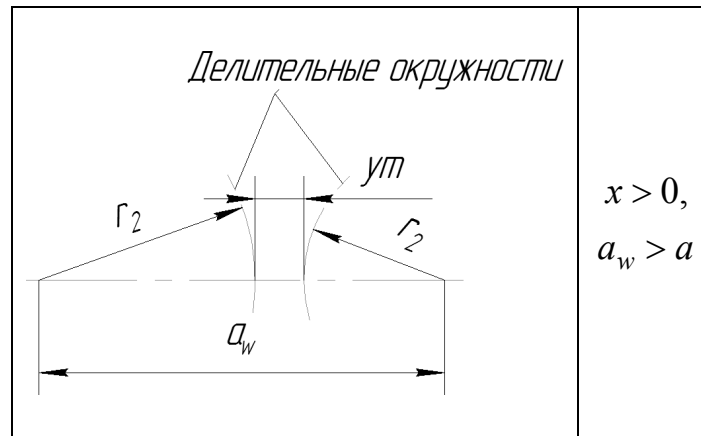
Рис. 3. Влияние числа зубьев на форму профиля эвольвентного зуба

В зависимости от установки инструмента (смещение исходного контура x) различают следующие виды колёс:

1. Положительные колёса (корректирование колеса с положительным смещением). Действительное межосевое расстояние a_w больше делительного межосевого расстояния a .

Таблица 1.

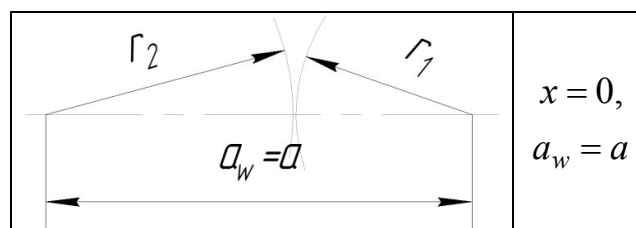
Положительная передача



2. Нулевые колёса (нормальные колёса с некорректированным профилем).

Таблица 2.

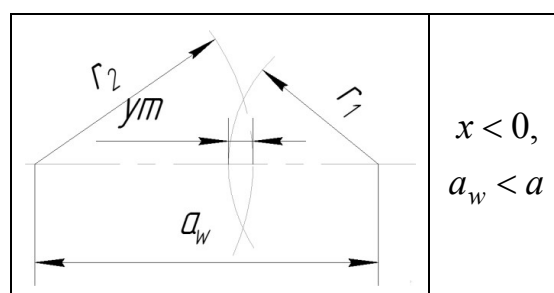
Нулевая передача



3. Отрицательные колёса (корректирование колеса с отрицательным смещением).

Таблица 3.

Отрицательная передача



В шестеренных насосах рациональнее всего применение положительной передачи, так как радиусы кривизны профилей зубьев больше, чем у нулевой и отрицательной передачи. Таким образом, зубья в положительной передаче наиболее надёжны с точки зрения сопротивления смятию и износу.

С помощью дополнительного пакета АРМ FEM в Компас-3D проведём прочностной анализ нулевого и положительного зуба. В положительной передаче (рис. 4) толщина зуба у основания увеличена, следовательно, прочность зуба является достаточной, несмотря на уменьшенный радиус сопря-

жения профиля с впадиной и связанный с этим увеличенный коэффициент концентрации напряжений. Также уменьшается степень перекрытия, по отношению к нулевой передаче, что является преимуществом при использовании такой передачи в насосах, так как большая продолжительность зацепления приводит к резкому усилению вредного влияния запираемой жидкости во впадинах зубьев [5].

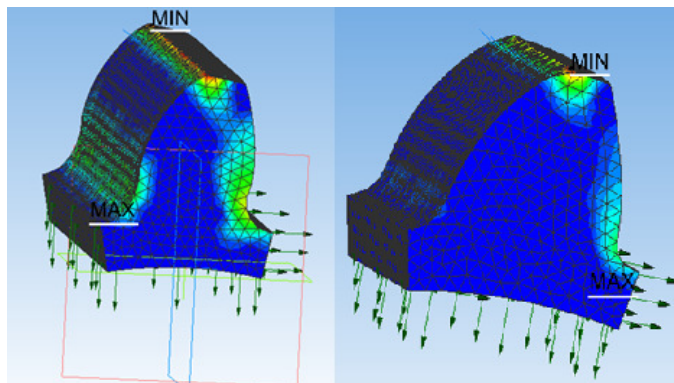


Рис. 4. Запас усталостной прочности по зубу в нулевой и положительной передаче

Таким образом, построив 3Dмодель и проведя расчёты, можно сказать что использование шестерённых насосов с эвольвентным профилем зубаявляется наиболее рациональным, так как имеют технологическую простоту изготовления и контроля, надёжность и долговечность работы.

Список литературы

- [1]. *Гинзбург Е.Г.* Зубчатые передачи: Справочник. – М.: Издательство «Машиностроение», 1980. – 416 с.
- [2]. *Башта Т.М.* Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – М.: Издательство «Машиностроение», 1982. – 423 с.
- [3]. *Куклин Н.Г.* Детали машин. – М.: Высшая школа, 1987. – 383 с.
- [4]. *Литвин Ф.Л.* Теория зубчатых зацеплений. – М.: Издательство «Наука», 1968. – 584 с.
- [5]. *Юдин Е.М.* Шестерённые насосы. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство «Машиностроение», 1964. – 238 с.

Коваленко Александр Степанович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: alexander1998@bk.ru

Савин Владимир Юрьевич – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: savin.study@yandex.ru

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ КОЛОНИИ МАРСИАНСКОЙ МИССИИ

Колонизация и освоение планет земной группы является закономерным и неизбежным шагом развития человеческой цивилизации. Начиная с первого полёта в космос, совершённого Гагариным Ю.А., освоение и заселение космического пространства стало одной из главных задач для цивилизации будущего. На сегодняшний день, развитие науки, техники и технологий позволяет преступить к планированию полноценной колонизации планет земной группы, в первую очередь Марса.

Одной из главных проблем при этом будет выработка электрической и тепловой энергии для колонии в условиях внеземной атмосферы.

Существует множество типов энергоустановок, способных работать в таких условиях, среди них выделяют два основных:

1. Безмашинные преобразователи, к которым относят: фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), термоэлектрические генераторы (ТЭГ), термоэмиссионные преобразователи (ТЭП), топливные элементы и магнитогидродинамические (МГД) генераторы;

2. Тепловые двигатели, представленные паровыми и газовыми объемными, лопастными и роторными машинами. [1]

Внеземные, в частности марсианские условия, такие как, низкое давление атмосферы, состоящей в основном из CO_2 , низкие среднесуточные температуры, низкая гравитация, пылевые бури и т.д., накладывают большое количество ограничений на возможность работы энергоустановок, что делает принципиально невозможным некоторые из перечисленных способов преобразования энергии.

Сам термин «колонизация» подразумевает длительное, а затем и перманентное присутствие человека на поверхности планеты, что ужесточает требования к надежности и ресурсу энергетических установок.

Самым очевидным источником преобразования энергии для Марса является фотоэлектрический преобразователь солнечного света, который хорошо зарекомендовал себя как основной источник выработки электроэнергии в космосе. Его достоинства хорошо известны:

- простота конструкции;
- возможность многократного дублирования генерирующих цепочек;
- отсутствие движущихся частей;
- достигнутый высокие уровни КПД (серийно выпускаемые до 24%, экспериментальные образцы ~ 40%);

Наряду с достоинствами ФЭП обладают и рядом недостатков:

- работают только в условиях облучения светом с длиной волны менее $\lambda=0,62$ мкм, соответствующей красной границе;

• имеют большие площади, а соответственно и массу, что обусловлено как малой плотностью потока рассеянного солнечного излучения, так и КПД преобразования;

- необходимость рассеяния больших тепловых потоков;
- высокая стоимость высокоэффективных ФЭП;
- вырабатывают постоянный ток небольшого напряжения;
- требуют больших емкостей аккумуляирования электроэнергии, а значит и массивных аккумуляторов.

Ключевым недостатком в условиях доставки и развёртки ФЭП на Марсе, с учётом потребной мощностью выработки электроэнергии (~300 кВт на экипаж из 5-10 человек) будет являться огромная необходимая эффективная площадь панелей ФЭП. Для сравнения, при выработке 124 кВт энергии на МКС требуется 16 панелей ФЭП общей площадью 1680 м² [2]. Учитывая то, что большая полуось Марса составляет 1,524 земной, а атмосфера, плотность которой составляет 0,4...0,87 кПа, интенсивность светового потока на Марсе значительно меньше, чем на орбите Земли. [3]

Термоэлектрические генераторы, термоэмиссионные преобразователи, магнетогидродинамические генераторы, требуемой для марсианской миссии мощности (300...500 кВт), также нельзя считать перспективными по ряду причин: большая масса, низкий КПД и т.д.

Поэтому наиболее перспективными типами энергоустановок для марсианской колонии представляются:

- замкнутая газотурбинная установка (ЗГТУ);
- паротурбинная установка с органическим циклом Ренкина (ПТУ с ОЦР).

Принцип работы ЗГТУ основан на замкнутом цикле Брайтона расширения/сжатия без изменения агрегатного состояния рабочего тела. Нагрев и охлаждение рабочего тела производится при помощи теплообменников, а его сжатие и преобразование в механическую энергию происходит в компрессоре и турбине соответственно.

В отличие от ЗГТУ, в цикле ПТУ с ОЦР происходит изменение агрегатного состояния рабочего тела. В паровом котле происходит процесс парообразования рабочего тела, а в конденсаторе – фазовое преобразование в жидкость. Компрессор в таком цикле отсутствует, его заменяет насос. Использование такой установки с классическим типом конденсатора возможно в условиях марсианской гравитации.

Таким замкнутым турбоустановкам для работы не требуется атмосфера земного типа. Источником тепла для них могут являться радиоизотопные источники или ядерный реактор. Отвод тепла от таких установок может быть реализован излучением и конвекцией в марсианскую атмосферу, а также в марсианский грунт.

Приведенные турбоустановки не имеют зависимости от положения относительно солнца/планеты, обладают меньшими габаритами и массой, по сравнению с ФЭП, не требуют громоздких аккумуляторов. Таким образом

они способны непрерывно вырабатывать тепловую и электрическую энергии для снабжения марсианской колонии.

Выбор рабочих тел представленных турбоустановок, обоснование её типа, оптимизация параметров выбранного рабочего тела, а также конструктивная проработка элементов и узлов – задачи которые необходимо решить при проектировании энергоустановки для снабжения электроэнергией и теплом долговременной колонии марсианской миссии.

Список литературы

[1]. *Арбеков А.Н.* Выбор параметров и эффективных тепловых схем газотурбинных установок замкнутого цикла для наземного и космического применения: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. – М. – 2019. – 301 с.

[2]. *Habr:* [сайт]. URL: <https://habr.com/ru/post/378117/> (дата обращения: 19.10.2020).

[3]. *Мороз В.И.* Физика планеты Марс. – М.: Наука, 1978. – 351 с.

Козырев Алексей Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248030, Россия. E-mail: kozyurevaa@student.bmstu.ru

Жинов Андрей Александрович – к.т.н., заведующий кафедрой «Тепловые двигатели и гидромашин» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: azhinov@bmstu.ru

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

В современном мире при разработке, эксплуатации и диагностике элементов установок различного типа невозможно обойтись без использования информационных технологий.

Во всехотраслях производства возрастает спрос на программное обеспечение для удобного, эффективного расчёта и анализа характеристик продукции. Особенно актуальными являются алгоритмы, связанные с проектированием машин, что позволяет упростить и ускорить значительную часть работы конструкторских отделов на предприятиях.

Создание современного программного обеспечения для проектирования основных агрегатов электрических станций – турбин, является одной из актуальнейших задач. Важнейшим направлением совершенствования процессов проектирования турбоустановок является разработка программных продуктов, выполняющих расчёт и оптимизацию проточной части турбины [1].

В настоящее время широкое применение нашли высокоуровневые языки программирования, позволяющие при минимальных затратах времени создать достаточно совершенные программы, осуществляющие процедуры расчёта и оптимизации элементов турбоустановок. Для данных языков существуют библиотеки функций, позволяющие моделировать происходящие в элементах турбоагрегатов процессы, создавать удобный пользовательский интерфейс и выводить результаты расчёта в качественной графической форме.

Для планируемого исследования выбран язык программирования Python, который обладает всеми вышеописанными достоинствами высокоуровневых языков и отлично подходит для реализации исследований по причине простоты процесса программирования, огромных возможностей для осуществления алгоритмов в любой отрасли науки (в частности, в энергомашиностроении, в веб-программировании), мировой популярности и наличию множества ресурсов, где можно найти ответы почти на все возникающие в процессе изучения данного языка вопросы [2].

Python прекрасно подходит для энергомашиностроительной отрасли, так как позволяет использовать необходимые для расчётов, создания интерфейса пользователя, вывода графики подключаемые библиотеки. Важно, что существуют библиотеки типа CoolProp для получения свойств различных веществ, в частности свойств воды и водяного пара.

Целью планируемого в рамках магистерской работы исследования является разработка программы по расчёту и оптимизации основных параметров паровой турбины, которыми являются относительный внутренний

КПД, длины лопаток, диаметры ступеней и прочие. Также для паровых турбин будет возможна вариация параметров циклов. [3]

На данный момент производится реализация средствами Python начального этапа расчёта паровой турбины – разбивки теплоперепадов по ступеням. При этом также предварительно определяются средние диаметры и количество ступеней турбины. Расчёт делится на этапы:

- ввод исходных данных;
- расчёт расхода пара на турбину;
- определение теплофизических свойств пара при начальных и конечных параметрах;
- расчёт общего располагаемого теплоперепада;
- определение диаметра первой и последней ступени;
- создание регрессионных зависимостей для изменения диаметров ступеней и отношения u/c_ϕ по длине проточной части;
- разбивка полученной зависимости на заданное количество отрезков;
- организация цикла расчёта теплоперепадов для начала и конца каждого отрезка;
- определение числа ступеней по формуле и округление его (и тем самым, определение реального количества ступеней турбины и отрезков разбиения регрессионных зависимостей);
- организация цикла окончательного определения теплоперепадов с помощью диаграммы;
- распределение между ступенями невязки суммы располагаемых теплоперепадов ступеней с определённым в начале общим располагаемым теплоперепадом [3].

Также разбивка теплоперепадов будет приспособлена для проточных частей с постоянным и переменным корневым диаметром. Для упрощения кода программы будет проводиться обработка данных в виде массивов характеристик по ступеням.

Программа для расчёта и оптимизации паровой турбины, создаваемая в ходе магистерской работы, будет являться востребованным и очень полезным продуктом. Она существенно упростит и ускорит расчёты на стадии проектирования. Конструктор получит возможность оценить эффективность турбины и поэкспериментировать с разными вариантами проточных частей. Помимо этого, программу легко модифицировать совершенствуя и дополняя расчёт, расширяя тем самым её возможности [4].

Упрощение расчёта и оптимизации проточной части должно принести ощутимую пользу для современного энергомашиностроения и для энергетики в целом.

Список литературы

[1]. Прохоренок Н., Дронов В. Python 3 и PyQt 5. Разработка приложений // БХВ-Петербург, 2018 г. – 832 с.

[2]. *Саммерфилд М.* Программирование на Python 3: Подробное руководство // Символ-Плюс, 2009 г. – 608 с.

[3]. *Костюк А.Г.* Паровые и газовые турбины. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – п.5.4. – С 154-158

[4]. *Лутц М.* Изучаем Python // Символ-Плюс, 2010 г. – 1280 с.

Мусатов Давид Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248030, Россия. E-mail: davidmusatova@gmail.com

Ильичев Владимир Юрьевич – к.т.н., КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: patrol8@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ В ГИДРОСИСТЕМАХ И УЗЛАХ

В статье приведена попытка оценки развития и преимуществ использования техники линейных перемещений. Как правило, до 2000 года в энергетике для реализации линейного перемещения использовались пневмоцилиндры, гидроцилиндры, шарико-винтовые, трапецеидальные, реечные, ременные или цепные передачи с применением направляющих или оборотнымеханизмы, в которых вращательное движение рычага преобразовывалось в поступательное перемещение рабочего органа [1].

Известны реализованные проекты сложных станков-автоматов по обработке деталей, где в качестве устройств линейного перемещения использовались только гидроцилиндры. В качестве единого целого, т.е. устройства имеющего в своем составе и привод, и направляющие, и редуктор характерно было применение привода винтового моторного, использовавшегося в основном в горнодобывающей и металлургической промышленности. Высокотехнологичным примером применения техники линейного перемещения можно назвать применение механизмов в авиации и в военной технике. Были разработки Российскими институтами линейных электроприводов, как единого целого и до 2000 года (например, продукция ОАО «СКБ приборостроения и автоматики», г. Ковров), но они не нашли широкого применения в промышленности скорее всего из-за дороговизны вследствие мелкосерийного производства. Слово «актуатор» (actuator) в обиходе появилось только после 2000 года [1].

Пневматика и гидравлика с лихвой окупает свое использование на крупных производствах, где есть централизованное снабжение сжатым воздухом или гидрокоммуникации. На данный момент широко развиваются малые производства, где установка гидро или пневмо коммуникаций нецелесообразна. К преимуществам гидравлики и пневматики можно отнести дешевизну, компактность, долговечность, однако также имеется и ряд недостатков: невозможность использования пневматики при низких температурах; разрозненность компонентов (гидро-, пневмоцилиндр, насосная станция или гидростанция, требуемые коммуникации, блоки подготовки воздуха, гидро и пневмоклапаны, распределители); утечки; необходимость постоянного поддержания давления, а значит – чрезмерный расход электроэнергии; сложность реализации точного позиционирования и требуемой скорости перемещения.

Этих недостатков лишены системы линейного перемещения основанные на электроприводах (с применением трапецеидальной передачи винт-гайка, шарико-, роliko-винтовых передач, линейные двигатели). Также такие системы позволяют реализовать такие преимущества как: высокая точность по-

зиционирования рабочего органа, потребление энергии только при перемещении, эксплуатация при неблагоприятных условиях окружающей среды. Однако они отличаются дороговизной и низким сроком службы при работе в сложных условиях.

Для обеспечения возвратно-поступательных движений в промышленном и ином оборудовании применяются системы линейного перемещения. Они делятся на три типа:

1. Линейные направляющие, которые воспринимают нагрузки и минимизируют сопротивление движению. Это, например, направляющие на шариковых втулках, профильные рельсовые направляющие.

2. Линейные передачи, создающие осевое усилие требуемой величины и направления. Сюда относятся винтовые передачи, линейные двигатели.

3. Линейные приводы, сочетающие в себе направляющую и передачу. Примерами являются линейные модули, линейные столы, электроцилиндры, гидравлические и пневматические цилиндры.

В современной технике системы линейного перемещения используются очень широко, ведь необходимость движения по одной оси или нескольким осям возникает довольно часто, например:

- в обрабатывающих станках требуется перемещать заготовку и/или инструмент;
- в измерительных устройствах движется чувствительный элемент;
- в подъемно-транспортных системах и переключателях захватным приспособлением или на платформе перемещается полезный груз;
- обеспечивается плавное открытие и закрытие сдвижных дверей, выдвижных ящиков;
- системы регулирования.

Винтовые передачи. Рассмотрим линейные передачи к которым относятся винтовые передачи, линейные двигатели.

Винтовая передача скольжения состоит из ходового винта с резьбой трапецеидального профиля и соответствующей гайки (рис. 1). Пара винт-гайка преобразует вращательное движение в поступательное [2].



Рис. 1. Передача винт-гайка скольжения в разрезе

Винт скольжения изготавливается из твердой углеродистой стали, например С45, или твердой нержавеющей стали. Гайку скольжения делают из мягкого материала (бронза, латунь, мягкая сталь, полиамид и т.д.), поэтому она изнашивается быстрее, и её можно заменить отдельно от винта.

Существует два типа винтовых передач качения: шарико-винтовые передачи (ШВП) (рис. 2) и ролико-винтовые передачи (РВП) (рис. 3). В шариковой винтовой передаче гайка содержит шарики, движущиеся по резьбе винта под нагрузкой и по возвратным каналам свободным ходом. Она имеет легкий ход и обеспечивает быстрое перемещение при высоких нагрузках. Рециркуляция шариков обеспечивается возвратными каналами, идущими параллельно оси винта [2].

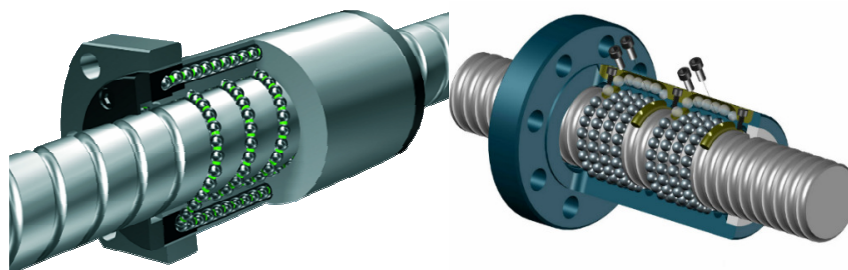


Рис. 2. Шарико-винтовые передачи (ШВП)

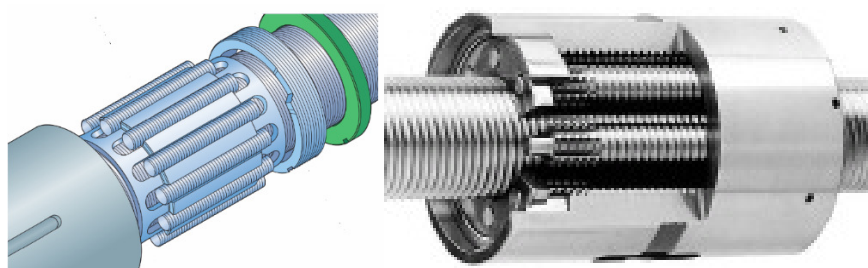


Рис. 3. Ролико-винтовые передачи (РВП)

Планетарная ролико-винтовая передача является разновидностью РВП, она объединяет в себе плюсы вышеупомянутых передач (рис. 4). Зубчатая рейка РВП обладает большой площадью контакта между резьбой роликов и резьбой винта, что означает больший ресурс и грузоподъемность, чем у ШВП, а также значительно большую жесткость и это дает возможность достигать больших угловых скоростей и ускорений винта [2].

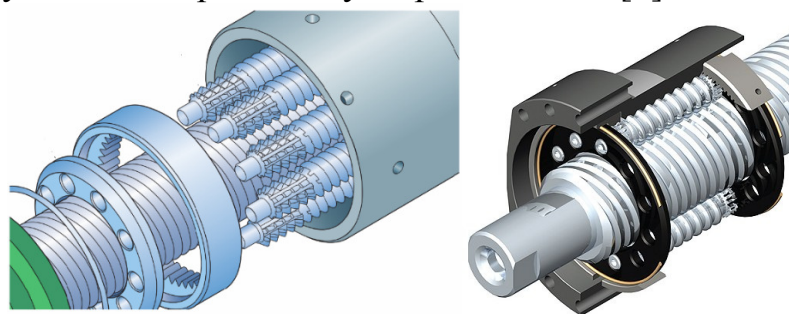


Рис.4. Планетарная ролико-винтовая передача

Системы линейных перемещений. Линейные приводы – это устройства для перемещения в пространстве с полезной нагрузкой. К ним относятся разные типы актуаторов и систем линейного перемещения. Линейный привод, в зависимости от типа и конструкции, обеспечивает перемещение по прямой, фиксированной кривой (например, дуге), на плоскости или в пространстве. Винт в таких передачах приводится в движение электродвигате-

лем, соединенным через муфту, зубчатую или ременную передачу, что дает возможность разместить его перпендикулярно, параллельно или соосно с винтом (рис. 5). Двигатели могут быть разных типов: коллекторные, асинхронные, шаговые или серводвигатели. Шаговые и серводвигатели подходят для позиционирования линейного привода со средней точностью и перемещения небольших нагрузок [3].



Рис. 5. Возможное расположение двигателя привода

Линейный двигатель (рис. 6) является одной из разновидностей электрического двигателя, где подвижная часть линейно перемещается относительно стационарной. На неподвижную часть (первичный элемент) подается электрический ток, создающий магнитное поле. Под действием этого поля в подвижной части (вторичном элементе) возникают вихревые токи, которые, в свою очередь, создают еще одно магнитное поле. При взаимодействии этих магнитных полей возникает сила, направленная вдоль оси линейного двигателя и приводящая его в движение.

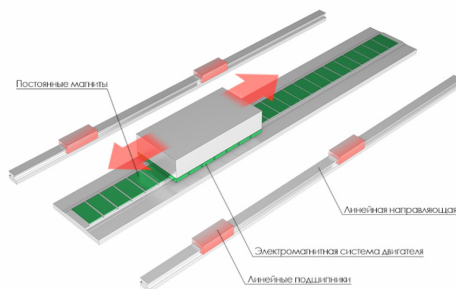


Рис. 6. Принципиальная схема линейного двигателя

Осевое усилие промышленных линейных двигателей составляет от нескольких Н до десятков кН. Диапазон скоростей также очень широк – от 10 мкм/с до 15 м/с. Скорость полезного перемещения линейных двигателей может превышать 200 м/мин. Типичные длины рабочего хода штока – десятки-сотни мм, однако ход может достигать и 30 м, причём не в транспортной системе, а в обрабатывающем станке. Крайне малое трение и прямое преобразование энергии обеспечивают линейному двигателю КПД свыше 90% [4].

Применение систем линейных перемещений в энергетике. Область применения систем линейных перемещений, т.е. приводов крайне обширна. В энергетике линейные приводы применяются в запорной арматуре, существуют уже готовые решения от таких компаний как «АБС ЗЭиМ», «Zetkama», «Тесофи» и др., приводы для управления паровыми и газовыми турбинами и т.д.

Таким образом, линейные приводы, основанные на ВШП, РВП, линейных двигателях, являются актуальным и перспективным направлением промышленности. Современные технологии позволяют модифицировать, а иногда и заменять, существующие узлы и агрегаты, в том числе те, где были применены пневмоцилиндры, гидроцилиндры или оборотные устройства, применяя механизмы линейного перемещения или использовать их во вновь создаваемом оборудовании.

Список литературы

[1] *Онищенко Г.Б.* Электрический привод. Учебник для вузов – М.: РАСХН, 2017

[2] *Справочник конструктора-машиностроителя / Анурьев В.И.* – 2015

[3] *Технология линейных перемещений.* Справочное руководство / Bosch Rexroth AG R310RU 2017 (2008.01)

[4] *Епифанов А.П.* Электрические машины : учебник / А.П. Епифанов, Г.А. Епифанов. – СПб.: Лань, 2017

[5] *Прямоходные электроприводы типа МЭП завода «ЗЭИМ».* Номенклатурный каталог продукции (<http://www.zeim.ru/production/cat/catalogue/nomenk.pdf>)

Каньшин Кирилл Сергеевич – студент, бакалавр КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: Kanshin.K@yandex.ru

Сизов Александр Николаевич – зам. гл. констр. отд. гидравл. систем и компл. автом., доц. каф. К2-КФ, канд. техн. наук ОАО «КТЗ». E-mail: axelxd@yandex.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ГАБАРИТОВ И СТОИМОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПЛАСТИНЧАТЫХ РЕКУПЕРАТОРОВ ГТУ

Целью данной работы являлась разработка программного продукта для определения габаритов и стоимости поверхности теплообмена пластинчатого рекуператора для малоразмерного ГТД.

В современной энергетике большую часть рынка занимают маломощные энергетические газотурбинные установки, так как они отличаются компактностью, относительно низкой стоимостью и могут использоваться в качестве автономных источников электроэнергии для промышленных и бытовых потребителей в случаях, когда подключение к единой энергосети нерентабельно или невозможно. Актуальной проблемой при создании маломощных ГТУ является повышение КПД цикла [1].

Для увеличения КПД применяются сложные термодинамические циклы, например, цикл с регенерацией. При использовании регенерации в цикле ГТУ теплота отработавших газов утилизируется в рекуператоре для подогрева воздуха перед камерой сгорания. Таким образом уменьшается расход топлива на несколько процентов, но при этом увеличивается металлоемкость ГТУ, повышается её стоимость [2].

Регенерация достигается с помощью применения различных теплообменных аппаратов, например, пластинчатых и трубчатых рекуператоров [3].

Применение пластинчатых рекуператоров обосновано в случае жестких ограничений по массе и габаритам силовой установки [4].

Достоинствами данного типа теплообменных аппаратов являются высокая эффективность, сравнительно с трубчатыми рекуператорами меньшая удельная (на единицу объема) площадь теплопередающей поверхности, недостатком – относительно низкая надёжность.

Практически каждый объект исследования можно представить в виде системы, имеющей входы (критерии, воздействия) и выходы (целевые функции, результаты). Задачей исследователя чаще всего является получение зависимости целевых функций от критериев.

Исходя из цели данной работы, объектом исследования является пластинчатый рекуператор малоразмерной ГТУ, параметры которого необходимо оптимизировать для достижения максимального технико-экономического эффекта.

Пластинчатый рекуператор разрабатывается для повышения эффективности ГТУ 9И113М0,2 (топливо: природный газ), производства ПАО «КАД-ВИ». Исходные данные для расчета предоставлены производителем.

Оптимизацией называют достижение экстремума (максимума или минимума) выходного параметра системы, наиболее значимого при достижении цели проводимого исследования, при варьировании входных воздействий.

В данном случае целевой функцией является достижение максимального экономического эффекта, который зависит от многих факторов.

Первым фактором являются габариты рекуператора, которые ограничены габаритами ГТУ, вторым – его стоимость, которая увеличивается при повышении степени регенерации r . С другой стороны, при увеличении r уменьшаются эксплуатационные затраты на топливо, т.к. повышается КПД установки.

Для рассмотрения влияния r на габариты и стоимость рекуператора была составлена программа на языке Python (высокоуровневый язык программирования общего назначения, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода). Теплофизические свойства воздуха и продуктов сгорания определялись с помощью подключаемого модуля CoolProp.

После запуска программы необходимо заполнить поля колонки «Параметры воздуха», «Параметры продуктов сгорания», поля «Толщина листа», «Коэффициент теплопроводности листа», «Отношение ширины листа по воздуху/продуктам сгорания», «Плотность материала листа», «Стоимость кг материала листа».

Параметры теплоносителей на входе в рекуператор:

Параметры воздуха:	Параметры продуктов сгорания:
Расход: <input type="text" value="1.968"/> , кг/с	Расход: <input type="text" value="2.100"/> , кг/с
Давление: <input type="text" value="0.557"/> , МПа	Давление: <input type="text" value="0.11"/> , МПа
Температура: <input type="text" value="200.0"/> , °C	Температура: <input type="text" value="510.0"/> , °C
Потери давления: <input type="text" value="0.9"/> , %	Потери давления: <input type="text" value="3.75"/> , %
Площадь прохода каналов: <input type="text" value="0.004"/> , м ²	Площадь прохода каналов: <input type="text" value="0.004"/> , м ²
Периметр каналов: <input type="text" value="2.008"/> , м	Периметр каналов: <input type="text" value="2.008"/> , м
Толщина листа: <input type="text" value="1.0"/> , мм	
Козф. теплопроводности листа: <input type="text" value="18.3"/> , Вт/(м·К)	
Отнош. ширины листа по воздуху/прод.сг.: <input type="text" value="1.25"/>	
Плотность материала листа: <input type="text" value="7850.0"/> , кг/м ³	
Стоимость кг материала листа: <input type="text" value="64.0"/> , руб/кг	

Зависимость площади поверхности теплообмена от степени регенерации

Зависимость пути продуктов сгорания от степени регенерации

Зависимость стоимости поверхности теплообмена от степени регенерации

Зависимость количества каналов от степени регенерации

Рис. 1. Интерфейс программы

После нажатия кнопки «Зависимость площади поверхности теплообмена от степени регенерации», проводится расчет (по методике, изложенной в [5]), и строится данная зависимость.

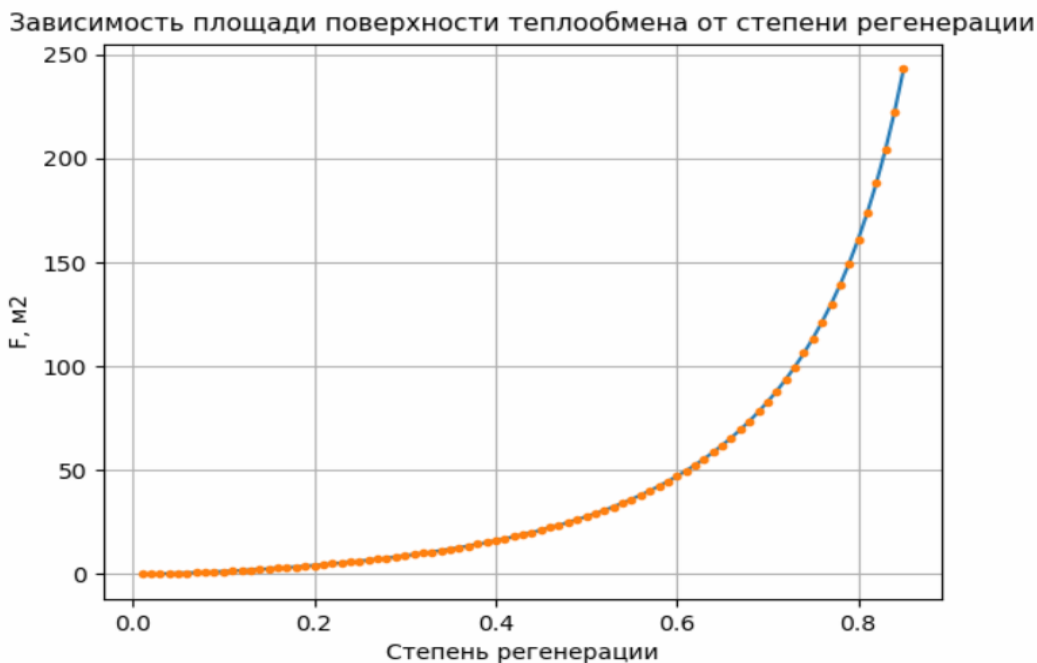


Рис. 2. Зависимость площади поверхности теплообмена от степени регенерации

На следующем этапе исследований описанная выше программа использовалась для расчёта зависимости стоимости теплообменной поверхности рекуператора от степени регенерации (рис. 3).

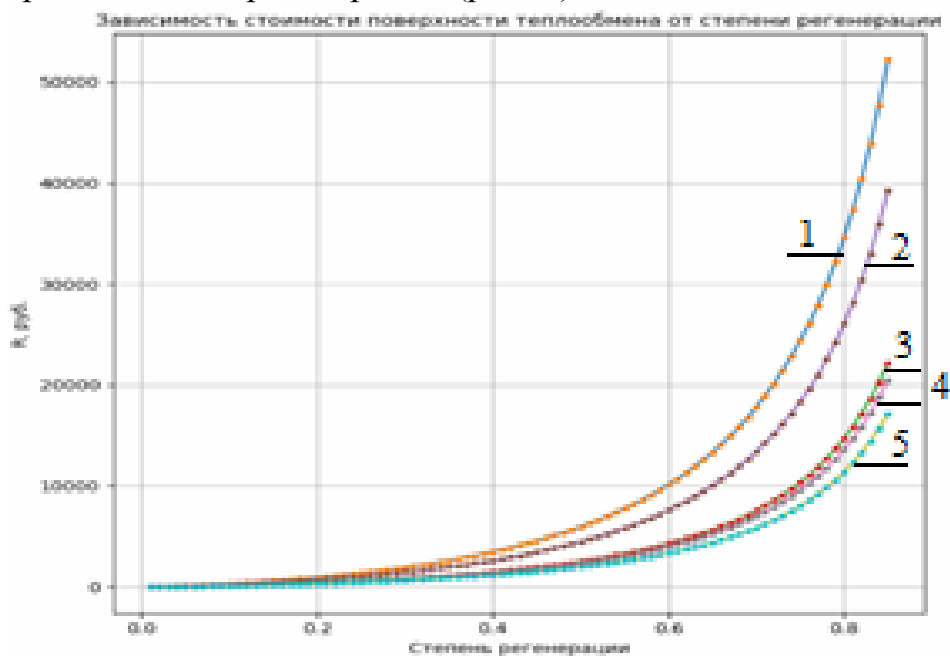


Рис. 3. Зависимость стоимости поверхности теплообмена от степени регенерации

Анализ ответов на запросы в различные отечественные компании, производящие пластинчатые рекуператоры, показал, что стоимость использованных материалов для изготовления пластин теплообменной поверхности составляет примерно 65% стоимости рекуператора.

Поэтому на первоначальной стадии оптимизации важно выбрать материал, наиболее выгодный по стоимости для изготовления пластин для рекуператора (так как все материалы обладают различной теплопроводностью, плотностью и удельной стоимостью):

1. Сплав 08X17T
2. Сплав 15X25T
3. Сплав 36X18H25C2
4. Сталь 12ХМФ
5. Сталь 15X2М2ФБС

Указанные номера материалов соответствуют номерам графиков на рис. 3.

Исходя из полученных зависимостей, можно сделать вывод, что теплообменная поверхность, изготовленная из стали 15X2М2ФБС (позиция 5) при любой степени регенерации имеет наименьшую стоимость.

При нажатии кнопки «Зависимость количества каналов от степени регенерации» строится следующая зависимость, которая позволяет определить габариты рекуператора, так как габаритные размеры пакета пластин складываются из количества проходных каналов и толщины листа (толщина является постоянной).

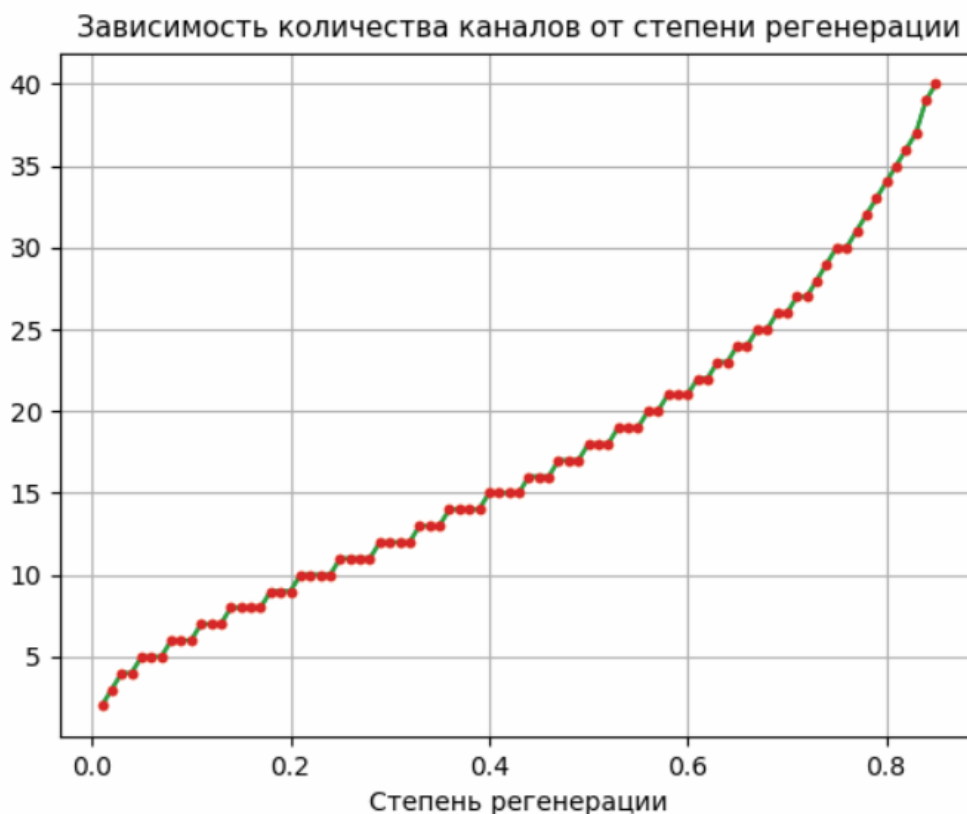


Рис. 4. Зависимость количества каналов от степени регенерации

Анализ результатов и выводы

Результаты расчёта данного примера позволяют сделать следующие выводы:

1. При увеличении степени регенерации увеличивается площадь теплообмена.

2. Так как увеличивается площадь теплообмена, увеличивается количество материала для изготовления пластин.

3. По полученным зависимостям стоимостей поверхности теплообмена от степени регенерации сталь 15Х2М2ФБС является наиболее подходящим из рассмотренных материалов, так как обладает наименьшей удельной стоимостью на единицу поверхности теплообмена, поэтому для этого материала стоимость теплообменной поверхности рекуператора при любой степени регенерации получается ниже, чем для остальных.

4. По полученной зависимости количества каналов от степени регенерации была выбрана степень регенерации $r=0,7$. При данном значении рекуператор удовлетворяет требованиям ограничения габаритов малоразмерной установки. Габаритные размеры пакета пластин при этом: 600x1000x750 мм. При большей степени регенерации габаритные размеры значительно увеличиваются.

5. Разработанная программа позволяет рассчитывать и подбирать указанные выше параметры пластинчатых рекуператоров для различных ГТУ.

Для проведения многофакторной оптимизации пластинчатых рекуператоров в последующих исследованиях необходимо также реализовать расчёт следующих показателей:

- КПД ГТУ с рекуператором
- Расход топлива
- Оценка рентабельности применения рекуператора в цикле ГТУ
- Оценка сроков окупаемости рекуператора

Следует отметить важность представленных и планируемых исследований при реализации утверждённых правительством России программ энергоэффективности и энергосбережения [6].

Список литературы

1. Сафонов Е.В., Бромер К.А., Шульц А.О., Шулев И.С. Особенности конструкции эффективных рекуператоров микрогазотурбинных энергоустановок. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2013. – С. 1-5.

2. Акулов К.А. Методические указания для практических занятий по дисциплине «Газотурбинные установки» для студентов, обучающихся по направлению 131000.62 «Нефтегазовое дело» всех форм обучения. Часть II. – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2013. – С. 1-32.

3. Ардатов К.В., Нестеренко В.Г., Равикович Ю.А. Классификация высокоэффективных рекуператоров газотурбинных двигателей. // Электронный журнал «Труды МАИ». – Выпуск № 71– 2013. – С.1-30.

4. *Пиир А.Э., Козак О.А., Кунтыш В.Б., Сухоцкий А.Б.* Тепловой расчет пластинчатых рекуператоров для систем вентиляции. // Труды БГТУ. – серия 1. – № 2. – 2018. С. 236-243.

5. *Аронсон К.Э., Блинков С.Н., Брезгин В.И. и др.* Теплообменники энергетических установок. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – Гл. №6.

6. *Работа* Правительства. Энергетика. Энергоэффективность и энергосбережение. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/562/events/> (дата обращения: 17.10.2020).

Ильичев Владимир Юрьевич – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: patrol8@yandex.ru

Лужецкий А.А. –

СХЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЛАСТИНЧАТЫХ НАСОСОВ

Объёмный гидропривод широко используется в различных отраслях машиностроения благодаря ряду существенных преимуществ по сравнению с другими типами приводов. К основным из них относится создание значительной мощности при ограниченных размерах и массе гидравлических двигателей, высокое быстродействие, позиционная точность исполнительных механизмов, плавность работы, простота автоматизации и разветвленность привода, бесступенчатое регулирование скорости на ходу машины, самосмазываемость элементов гидроприводов, функционирующих обычно на минеральных маслах, благодаря чему достигается высокая износостойкость и надёжность гидропривода при его работе [1]. В регулируемых гидроприводах применяются регулируемые насосы, то есть гидромашин, у которых подача может быть изменена при изменении рабочего объема.

Пластинчатые насосы однократного действия имеют высокий КПД (порядка 90%), достаточно низкий уровень шума, сравнительно низкую, по сравнению с другими типами объёмных насосов пульсацию подачи, возможность регулировать рабочий объём. Регулируемые пластинчатые насосы имеют рабочий объём равный $6...170 \text{ см}^3$; давление равное $2...21 \text{ МПа}$ и обороты вала равные $800...1800 \text{ мин}^{-1}$ [2]. Различают насосы прямого и непрямого управления, причем в первых применяется силовая пружина для уравнивания радиальной составляющей силы на статоре, а во вторых – золотниковый распределитель, изменяющий давление в камере управляющего поршня.

На рис. 1 представлен регулируемый пластинчатый насос прямого управления [3]. Эксцентриситет статора определяет рабочий объём, а следовательно, подачу насоса. За счёт регулировочного винта 1 можно ограничить максимальную подачу. Винт 3 позволяет отрегулировать максимальное давление.

При работе насоса на внутреннюю поверхность статора воздействует сила F_p , величина которой зависит от сопротивления гидросистемы. Вертикальная составляющая этой силы F_v сравнительно большая, а горизонтальная составляющая невелика и направлена в сторону противоположную усилию пружины F_f . При возрастании давления в гидросистеме сила F_p увеличивается и, когда величина горизонтальной составляющей F_h становится больше усилия пружины F_f , статор смещается вправо происходит уменьшение эксцентриситета, и снижение подачи до значения, близкого к нулю (её величина равна величине утечек), при этом давление будет поддерживаться на заданном уровне. Величина давления, при котором подача становится равной нулю, может регулироваться путём изменения натяга пружины с помощью винта 3 .

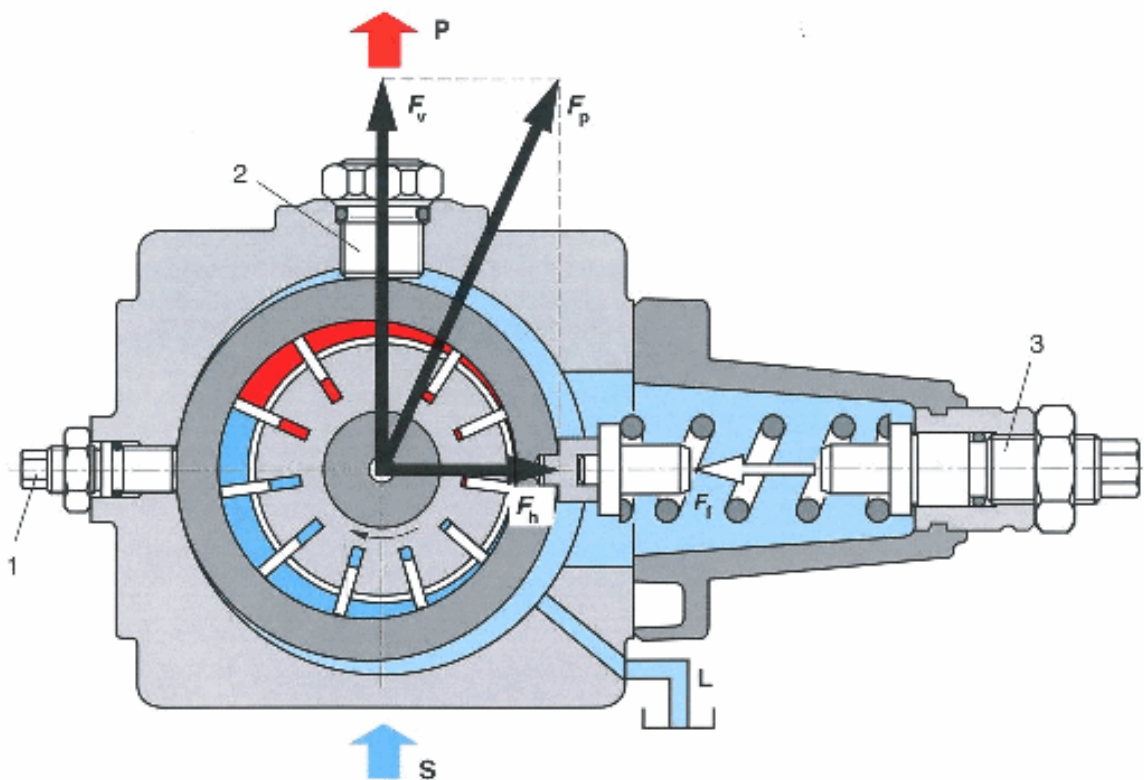


Рис. 1. Регулируемый пластинчатый насос прямого управления

В регулируемом насосе непрямого управления (рис. 2) эксцентриситет изменяется с помощью находящихся под давлением установочных поршней, имеющих различные диаметры. При запуске насоса устанавливается максимальный эксцентриситет при помощи пружины, которая воздействует на установочный поршень большего диаметра. К установочным поршням постоянно подводится давление из напорной линии, если давление действующее на оба поршня равны, статор находится в положении максимального эксцентриситета из-за разности площадей установочных поршней. Уменьшение с помощью регулятора R давления жидкости на правый поршень приводит к смещению статора вправо, уменьшению эксцентриситета, а следовательно, к снижению подачи насоса.

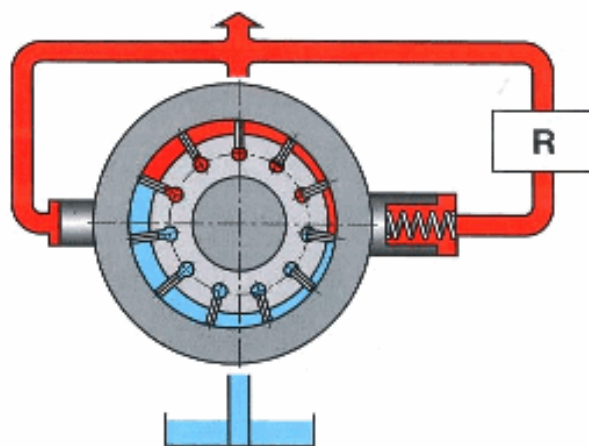


Рис. 2. Регулируемый пластинчатый насос непрямого управления

При резком изменении расхода рабочей жидкости, поступающей в гидросистему, и высокой жесткости напорной линии возможны значительные колебания давления в переходных режимах, что может приводить к усталостному разрушению трубопровода, а также вызывать вибрацию устройств управления. Для обеспечения стабильной работы регулируемого гидропривода необходимо исследовать переходные процессы, возникающие при изменении режимов работы насоса.

Список литературы

[1]. *Лозовецкий В.В.* Гидро- и пневмосистемы транспортно-технологических машин [Электронный ресурс]: учебное пособие. – СПб: Лань, 2012. – 560 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/3808>

[2]. *Свешников В.К.* Станочные гидроприводы: Справочник. – СПб: Политехника, 2015. – 627 с.

[3]. *Гидропривод. Основы и компоненты: учебный курс по гидравлике. Том 1.* – Эрбах, Германия: Бош Рексрот АГ Сервис Автоматизация Дидактика, 2003. – 323 с.

Галкин Алексей Игоревич – магистрант, бакалавр КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alex40-rus@mail.ru

Шитохина Ольга Григорьевна – доцент, канд. физ.-мат. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: bonkog@mail.ru

УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОГО НАСОСА

Предвключенная ступень насоса. Существует несколько способов по повышению энергетических характеристик и кавитационных качеств вихревого насоса. Один из них это постановка специальной осевихревой ступени (ОВС) [1]. Эта ступень насоса, состоящая из осевого колеса-шнека и охватывающей его винтовой решетки с лопастями, противоположного хода вошла в обширное использование. С помощью неё можно получить высокие кавитационные качества, по сравнению с лучшими шнекоцентробежными ступенями. Коэффициент напора такого насоса может быть в несколько раз выше, чем у центробежных ступеней, характеристика имеет монотонно падающую форму. Работа осевихревой ступени во всем диапазоне подачи стабильна, без низкочастотных пульсаций давления и подачи на всех режимах и давлению на входе. Насос с её использованием обладает уникальным качеством: с развитием кавитации снижаются уровни вибрации и шума. Такие свойства делают возможным создавать гидравлические машины с минимальными уровням шума и вибрации. Существует методика расчета насоса, имеющая удовлетворительную сходимость с экспериментом.

ОВС состоит из осевого колеса (шнека) 1 (рис. 1) и размещенной на его периферии неподвижной винтовой решетки 2, ход нарезки лопастей которой противоположен ходу лопастей шнека [2].

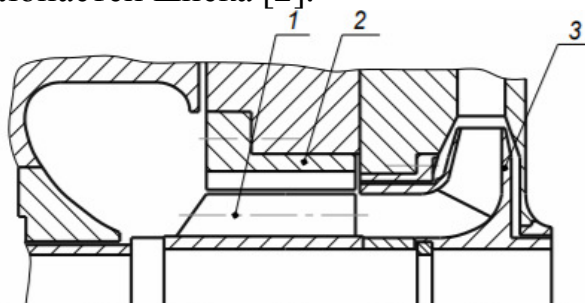


Рис. 1. Схема осевихревой ступени: 1 – осевое колесо (шнек); 2 – неподвижная втулка с лопатками; 3 – центробежное колесо

Изменение параметров колеса вихревого насоса. Была поставлена задача получить оптимальные энергетические характеристики изменяя параметры колеса вихревого насоса. Сам насос должен работать на следующие параметры: напор 160 м; подача 5 м³/ч; температура жидкости 20°С; частота оборотов 2950 об/мин.

После изменения каналов колеса, а именно удаление перемычки (рис. 2), получены значения напоров для данного вида насоса, представленные на рис. 3.

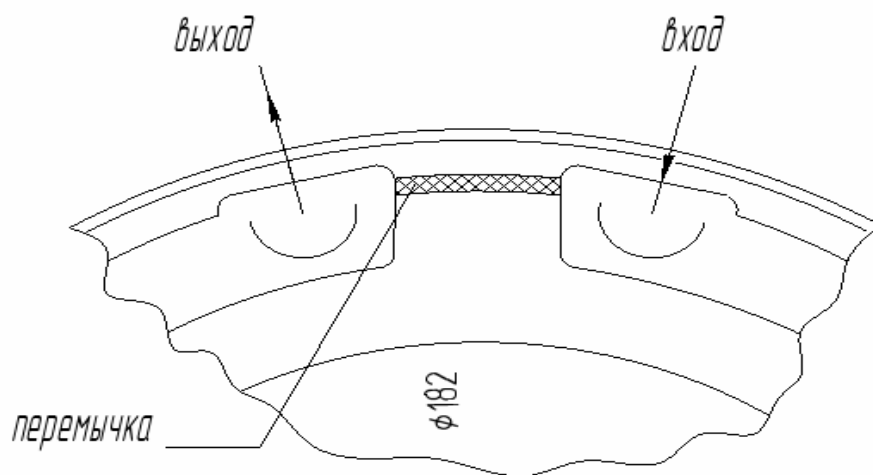


Рис. 2. Перемычка между каналами, с показанным входом и выходом жидкости

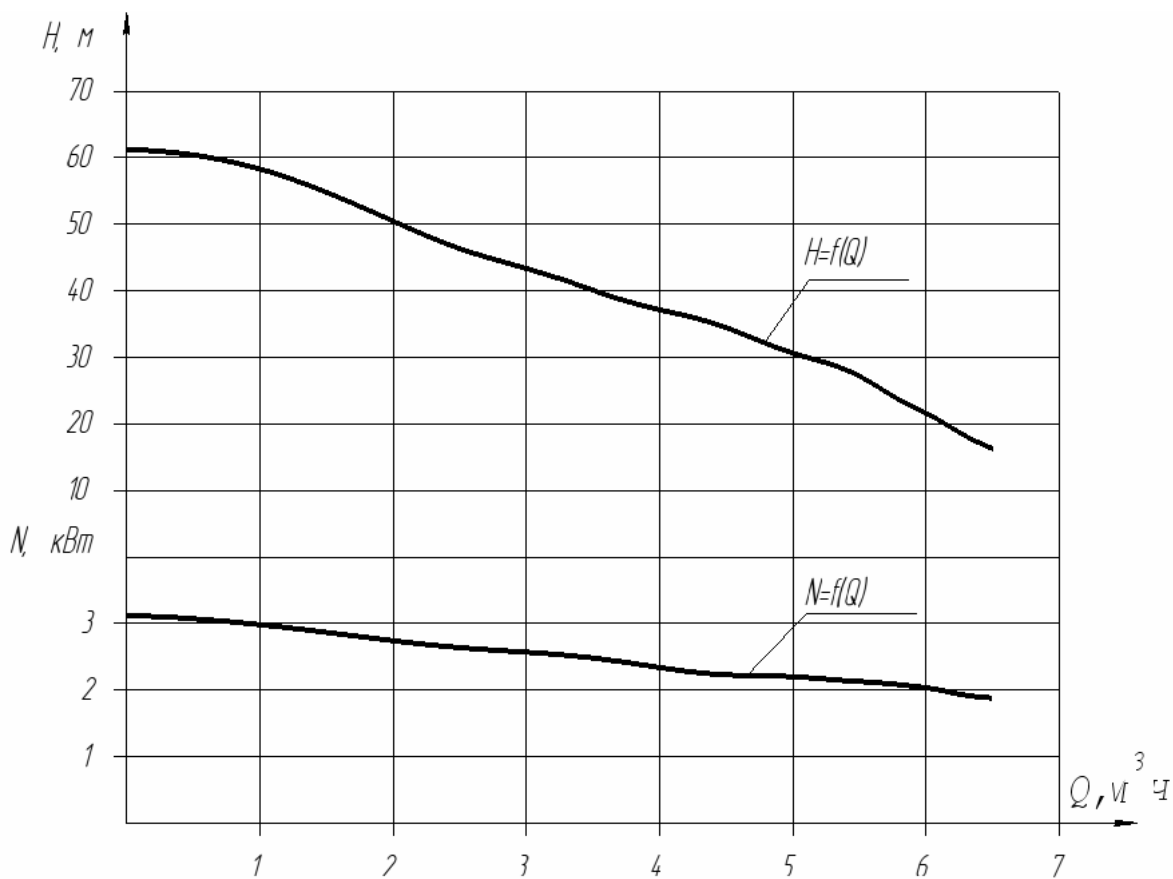


Рис. 3. Энергетические характеристики после доработки каналов, с удаленной перемычкой

Как видно из графика получен малый напор, поэтому было принято решение доработать рабочее колесо, изменив его диаметр и его зазоры (рис. 4). В результате, как видно из рис. 5, был достигнут большой напор.

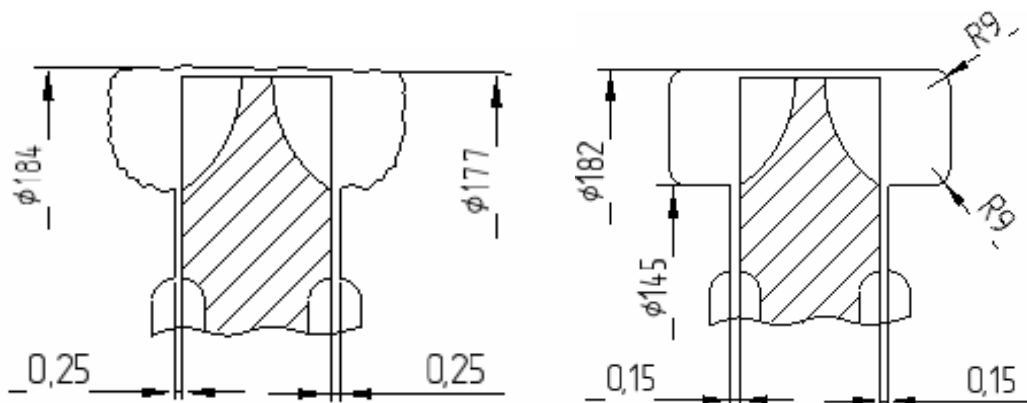


Рис. 4. Размеры рабочего колеса до и после изменения

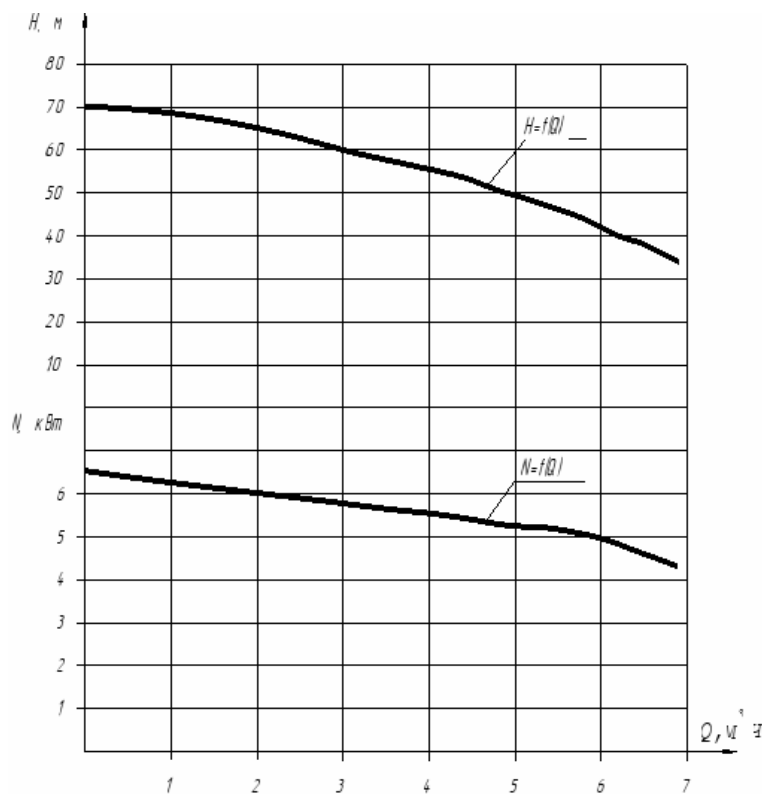


Рис. 5. Энергетические характеристики после изменения параметров рабочего колеса

Для того чтобы доработать насос к заданным параметрам требуется дальнейшее исследование параметров колеса.

По окончании изучения параметров рабочего колеса можно дать следующие рекомендации по проектированию вихревого насоса:

1. Проточная полость насоса должна оказывать наименьшее сопротивление продольному вихрю (полукруглое сечение канала рис. 6, а и полукруглое сечение рабочего колеса в области лопастей рис. 6, б).
2. Прямоугольное сечение бокового канала снижает напор.
3. Вход в насос должен быть плавным, без выступов = 1...2 м/с.
4. Направление потока на входе и выходе должно совпадать с направлением вращения колес (рис. 6, а.).

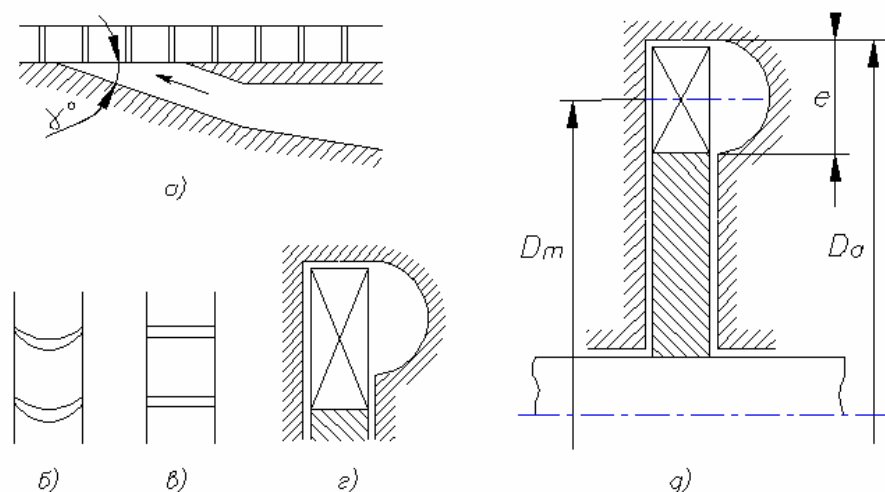


Рис. 6. Элементы проточной части

Вывод: получены энергетические характеристики в зависимости от различных параметров рабочего колеса; в результате теоретических исследований сделаны выводы по рекомендациям в построении проточной части насоса.

Список литературы

1. Анкудинов А.А., Зубов А.А. Сравнительный анализ характеристик осевой и осевихревой ступени насосов
2. Анкудинов А.А., Волчкова Е.В., Коротков В.В. Исследование характеристик вихревого нагнетателя с цилиндрическим ротором

Малахов Владислав Сергеевич – студент, бакалавр КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: vlad.merlin@mail.ru

Сизов Александр Николаевич – зам. гл. констр. отд. гидравл. систем и компл. автом., доц. каф. К2-КФ, канд. техн. наук ОАО «КТЗ». E-mail: axelxd@yandex.ru

АНАЛИЗ РАБОТЫ РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ НАСОСА РЕГУЛЯТОРА ГТУ НА РЕЖИМАХ ПОВЫШЕННЫХ ОБОРОТОВ

Газотурбинная установка с точки зрения протекающих процессов является сложной установкой.

Главными параметрами, которые характеризуют режим работы ГТУ являются: температура газа перед турбиной и частота вращения. Регулирование режимов работы ГТУ, в основном, сводится к управлению этими параметрами [1].

В данной работе основное внимание будет обращено на регулирование частоты вращения.

Свойства газотурбинного двигателя в общем случае могут быть охарактеризованы зависимостью крутящего момента на выходном валу от развиваемой частоты вращения при заданном режиме.

Работа ГТУ характеризуется крайне неустойчивой частотой вращения. Во время работы двигателя нагрузка постоянно меняется. Интенсивность изменения нагрузки может быть достаточно разнообразной: от резкого увеличения, до резкого снижения. Например, при резком снижении нагрузки частота вращения ротора сильно увеличивается, что вызывает уменьшение подачи топлива.

Это происходит из-за сокращения времени прохождения плунжером окон втулки и, соответственно, сокращения количества вытесняемого топлива. Таким образом, обороты двигателя сильно возрастают.

Напротив, увеличение нагрузки двигателя и, следовательно, снижение оборотов, приводит к большему количеству вытесняемого топлива, следовательно из-за большого количества вытесняемого топлива ГТУ склонна к самоостанову, так как топливо полностью не перерабатывается.

Регулятор частоты вращения предназначен для поддержания частоты вращения турбины на заданном режиме. В данном случае это режим повышенных оборотов. Частота вращения турбины изменяется за счет изменения впрыска топлива в камеру сгорания.

Рассматриваются два способа регулирования: это механическое регулирование, оно подразумевает ручную настройку регулятора частоты вращения под конкретные режимы работы установки, и регулирование с применением электрогидравлического корректора частоты вращения [3].

В первом случае регулирование частоты вращения будет осуществляться строго в определенные моменты работы газотурбинной установки, следовательно, в промежутках между переходными процессами будет наблюдаться нестабильная работа установки. Это будет выражаться в падении или наоборот в увеличении оборотов, следовательно для выхода

ГТУ на какой-либо заданный режим потребуется значительно больше времени [2].

В случае регулирования при помощи электрогидравлического корректора, процесс регулирования будет осуществляться в течение всей работы ГТУ, что обеспечит гораздо плавную и бесперебойную работу установки. Упрощенная схема электрогидравлического корректора представлена на рис.1.

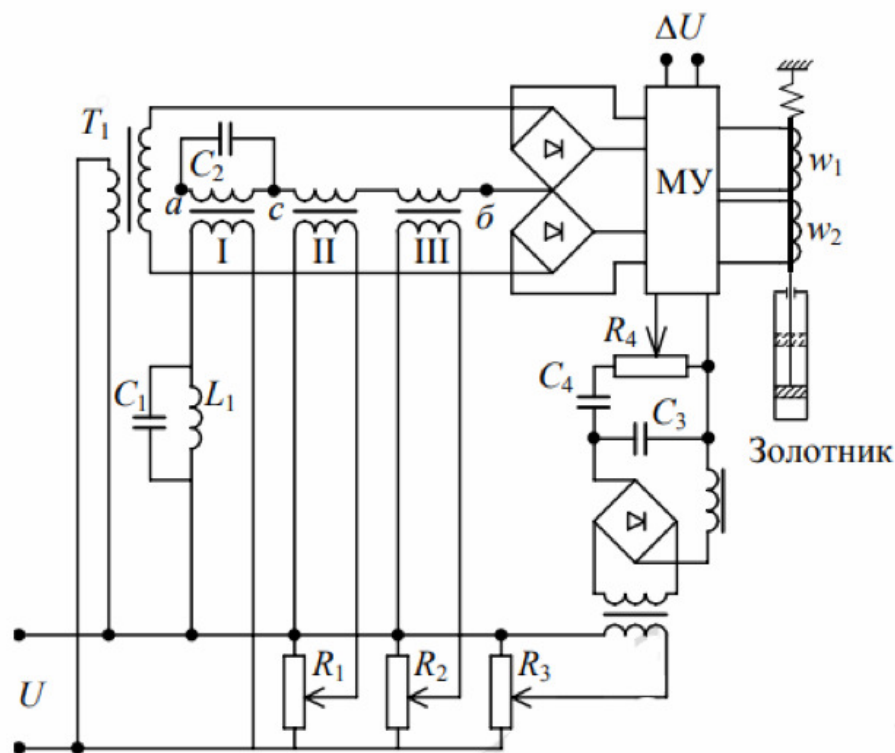


Рис.1. Упрощенная схема электрогидравлического корректора

С сопротивления R_1 по цепочке подается дополнительное напряжение, которое обеспечивает ручное изменение установки регулятора. Напряжение с сопротивления R_2 регулируется в функции перемещения штока сервомотора и, следовательно выполняет роль сигнала по каналу жесткой обратной связи. Сопротивление R_3 так же направлено от штока сервомотора.

Напряжение с сопротивления R_3 затем выпрямляется, сглаживается и дифференцируется цепочкой C_4-R_4 . Так формируется сигнал по каналу гибкой обратной связи. Все рассмотренные сигналы подаются на магнитный усилитель МУ в котором они суммируются и усиливаются.

Нагрузкой на магнитный усилитель являются катушки электромагнита w_1 и w_2 . Сердечник электромагнита воздействует на иглу побудительного золотника. Расположение катушек выбрано таким образом, что при уменьшении частоты генератора игла перемещается с сердечником электромагнита в сторону увеличения открытия направляющего аппарата, а при увеличении частоты на его закрытие. Подавая сигнал на магнитный усилитель МУ, будет производиться астатическое регулирование с выравниванием мощности между агрегатами по среднему значению.

На рис. 2. представлена статическая характеристика работы регулятора частоты вращения. Из нее видно, что электрогидравлический корректор оказывает положительное влияние на частоту вращения. На кривой 1 наблюдаются достаточно сильные колебания оборотов, в данном случае регулятор имеет только ручную настройку. На кривой 2 видно, что при подключении корректора двигатель плавно, без скачков оборотов, выходит на заданный режим.

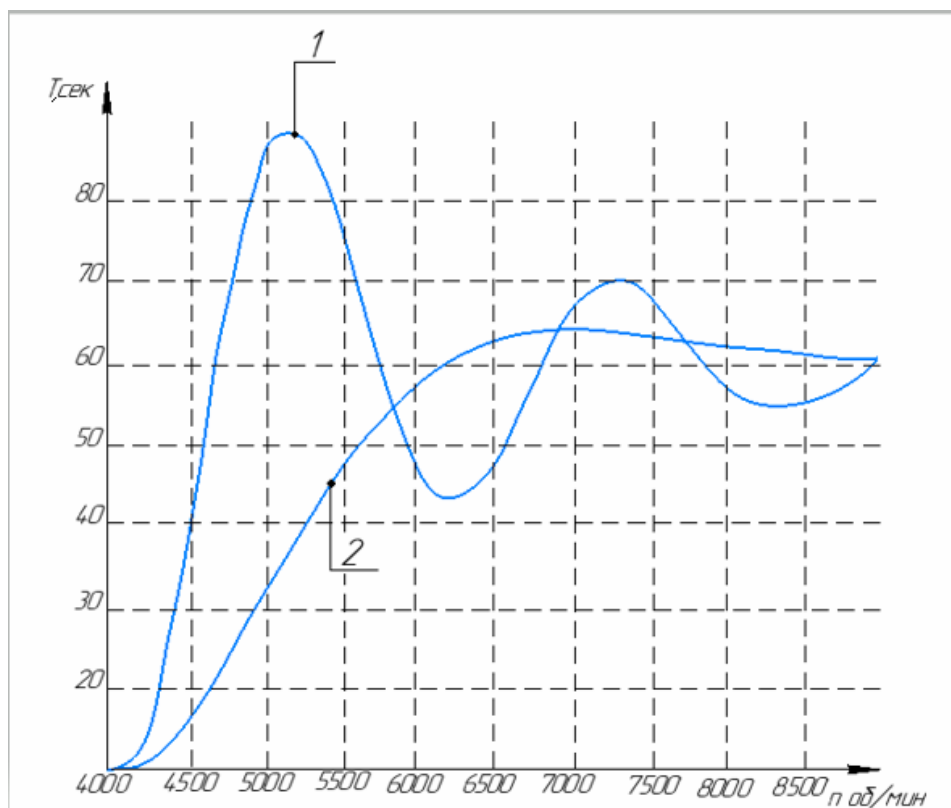


Рис. 2. Статическая характеристика работы регулятора

На основании статической характеристики рис. 2 можно сделать вывод, что ГТУ в котором установлен электрогидравлический корректор частоты вращения будет регулировать на любом режиме работы установки, начиная от запуска, заканчивая резким увеличением либо уменьшением нагрузки на двигатель, о чем свидетельствует статическая характеристика.

Список литературы

- [1]. *Князев М.Е.* Работа системы регулирования при запуске и опробовании ГТУ: метод. указания / М.Е. Князев, Н.Н. Игонин, Г.А. Новиков. – Куйбышев: КуАИ, 2017. – 32 с.
- [2]. *Адлер Ю.П.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 2014. – 279 с.
- [3]. *Салов Н.Н.* Гидродинамика и теплообмен в роторах и трансмиссиях газотурбинных двигателей. Уменьшение температурных напряжений в дисках / Н.Н. Салов. – М.: Вузовский учебник, 2017. – 318 с.

Заболотский Илья Павлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: ilua_zabolotsky333@mail.ru

Чубаров Федор Леонидович – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: fedor1966chub@yandex.ru

Шитохина Ольга Григорьевна – доцент, канд. физ.-мат. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: bonkog@mail.ru

Л.А. Жебелев, Е.А. Юрик

МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕПАРАТОРА-ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ ТУРБОАГРЕГАТА ДЛЯ РЕАКТОРА ВВЭР-440

Первый атомный реактор ВВЭР-440 был введен в эксплуатацию в 1971 году в Нововоронеже, СССР; на сегодняшний момент по всей России установлено 23 реактора данной серии. Имеет 7 различных модификаций и модернизаций: В-230, В-213, В-270, В-356, В-318, В-213М, В-213+. Срок эксплуатации данных реакторов – 60 лет. Из-за того, что данные установки уже длительное время обеспечивают целые регионы электричеством (как например Кольская АЭС и АЭС Ловииса в Финляндии), встает вопрос об их модернизации, а также улучшении их ТХ, без ликвидации и остановки реакторных залов. В данной работе рассмотрим модернизацию сепаратора СПП-220М для реактора типа ВВЭР-440, работающего на базе 2 турбоагрегатов К-220/44 производства харьковского турбинного завода (ныне ПАО «Турбоатом», Украина).

СПП предназначены для осушения и перегрева влажного пара, поступающего из цилиндра высокого давления (ЦВД), в цилиндр низкого давления (ЦНД). Сухим считается пар, у которого степень влажности меньше или равняется 0.01. Перегрев и осушение осуществляются с целью снижения вероятности эрозионного износа в проточной части ЦНД и повышения надежности её работы, а также повышения тепловой экономичности турбины [1]. Практически, на станциях степень сухости перегретого пара варьируется от 0.015-0.03, то есть перегретый пар не является идеально сухим. Связано это с постоянными большими расходами, из-за которых происходит изнашивание и старение оборудования.

Так как агрегаты СПП являются модульными, их ремонт или замену частей можно осуществлять непосредственно во время работы турбоагрегата; работая в условиях двухконтурной реакторной установки, эталонными приняты вертикальные сепараторы, встроенные в парогенераторы, или, так называемые «сепарационные пакеты».

Конструктивно, сепаратор-пароперегреватель СПП-220М изображен на рис. 1:

Пароперегреватели для АЭС выполнены в виде теплообменных кассет, каждая из них представляет собой теплообменник из 37-ми продольных труб 4. Греющий пар движется внутри труб, нагреваемый пар, поступающий через боковой патрубок 1 – снаружи. Секционные сепарационные блоки 2 служат для постепенного осушения пара и дальнейшего перехода от первой ступени 3 ко второй ступени перегрева 5. Весь конденсат поступает в конденсатоотвод 6, а осушенный пар по патрубкам отправляется на ЦНД [2].

Одно из самых главных условий модернизации – сохранение габаритов СПП, так как технологически и практически на действующей станции будет сложно или практически невозможно выполнить ремонтные работы без оста-

новки энергоблока. На ВВЭР-440 таких СПП два. Поэтому выход хотя бы одного пароперегревателя из строя приведет к экстренной остановке реактора. Из этих соображений предлагается оставить нынешний корпус в целости.

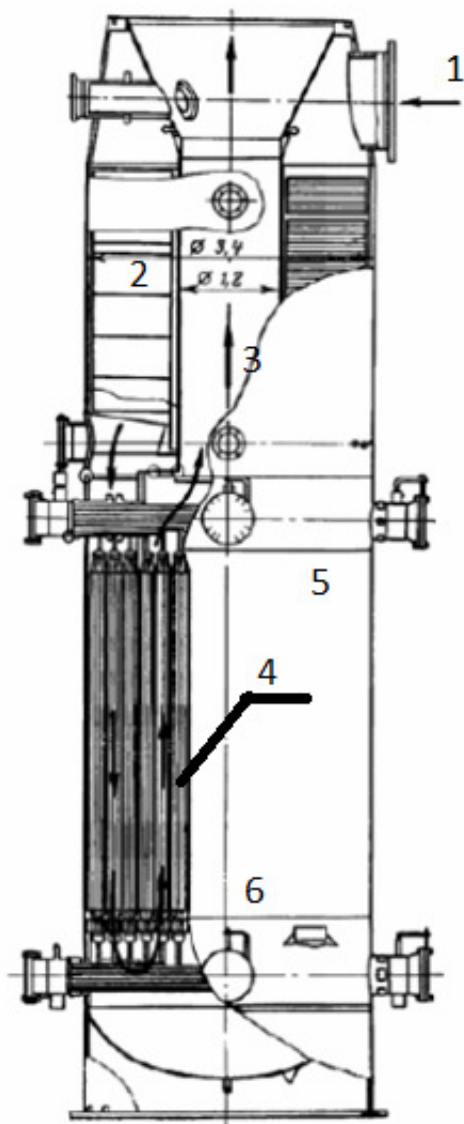


Рис. 1. Конструкция СПП-440М

Металл труб СПП работает в тяжелых температурных условиях даже при относительно невысоких температурах перегретого пара, 450-500°C. Трубы, выполненные из стали марки 20, способны работать в температурах от -40 до +450°C под давлением.[3] Данный тип стали являлся наиболее распространенным при промышленном производстве СССР, и на данный момент требует как минимум модификации. Поэтому, целесообразно провести замену этих труб на легированные марки сталей, близкие к Ст20, но более коррозионно-стойкие. Такой может стать, например, Ст30Х. Срок эксплуатации трубок без капремонта при данных условиях возрастет примерно на 30%, и будет составлять порядка 35 лет, вместо предыдущих 25.

При замене материала труб необходимо произвести новые расчеты теплообменника, чтобы окончательно подтвердить целесообразность замены металла, а также проверить - можно ли разместить новую трубную систему в старом корпусе, так как изменится коэффициент теплопередачи и, возможно, изменятся гидравлические сопротивления.

Список литературы

- [1]. *Рассохин Н.Г.* Парогенераторные установки атомных станций. – М. – 1987. – 384 с.
- [2]. *Reactors:* [сайт]. URL: http://reactors.narod.ru/rbmk/12_ssh.htm (дата обращения: 01.11.2020).
- [3]. *Костюк А.Г.* Турбины тепловых и атомных энергетических станций. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.

Жебелев Лев Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248012, Россия. E-mail: ws058104@gmail.com

Юрик Елена Алексеевна – к.т.н., преподаватель кафедры «Тепловые двигатели и гидромашины» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: EAYurik@gmail.com

СЕКЦИЯ 5.

МЕТОДЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ; АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ОРГАНИЧЕСКИМ РАБОЧИМ ТЕЛОМ СТАЦИОНАРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ

Введение. Генерация электрической энергии преимущественно осуществляется посредством паровых турбин, рабочим телом в которых выступает водяной пар. Применение такого рабочего тела является достаточно доступным и дешевым, но для передачи требуемой энергии, водяной пар должен иметь высокую температуру, которая достигается только при высоких давлениях и высокой температуре. Для утилизации низкопотенциальной энергии (низкая температура, низкое давление) все чаще применяется цикл Ренкина с альтернативными рабочими телами, в качестве которых обычно используются органические вещества, с более низкой, чем у воды, температурой кипений. Благодаря этому обстоятельству появляется возможность реализации цикла Ренкина при более низкой температуре [1].

Основной частью при проектировании систем автоматизированного управления теплоутилизационной энергетической установкой является не только «увязка» взаимодействия всех элементов системы и оперативный контроль над их работой, но и предоставление системе возможности оптимального регулирования и поддержания в заданных пределах основных её технологических параметров. Для оптимального управления (регулирования) технологических параметров элементов системы необходимо знание их математического описания. Математическое описание (составление математических моделей) сложных технических систем достаточно трудоемкий процесс даже для изученных физических сред и процессов, а использование органических тел в качестве теплоносителя накладывает дополнительные аспекты при их построении.

В связи с этим важным и актуальным является проведение экспериментальных исследований работы элементов теплоутилизационной системы с использованием органического рабочего тела (ОРТ), с целью получения основных термодинамических характеристик ОРТ.

Экспериментальная установка. Экспериментальный стенд состоит из следующих основных элементов и представлен на рис. 1. В состав стенда входят: 1 – парогенератор (ПГ); 2 – конденсатор; 3 – дополнительный электронагреватель на входе в ПГ; 4 – система контрольно-измерительных приборов (КИП); 5 – фильтр грубой очистки рабочего тела; 6 – трубопроводы линии жидкой фазы; 7 – трубопроводы линии парообразной фазы рабочего тела; 8 – циркуляционный насос рабочего тела; 9 – запорная арматура. Рабочим телом в стенде является фреон марки R-113, а в качестве греющей среды используется вода высокого давления (ВВД).

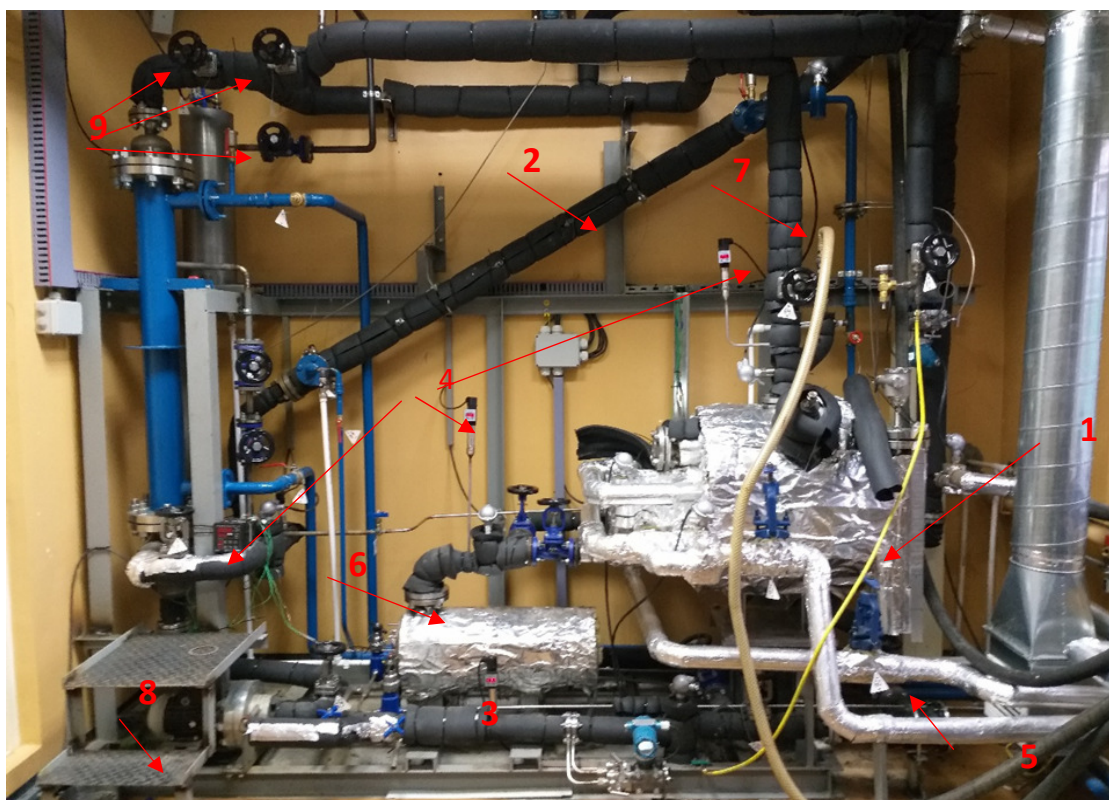


Рис. 1. Общий вид экспериментального стенда по испытанию РГ

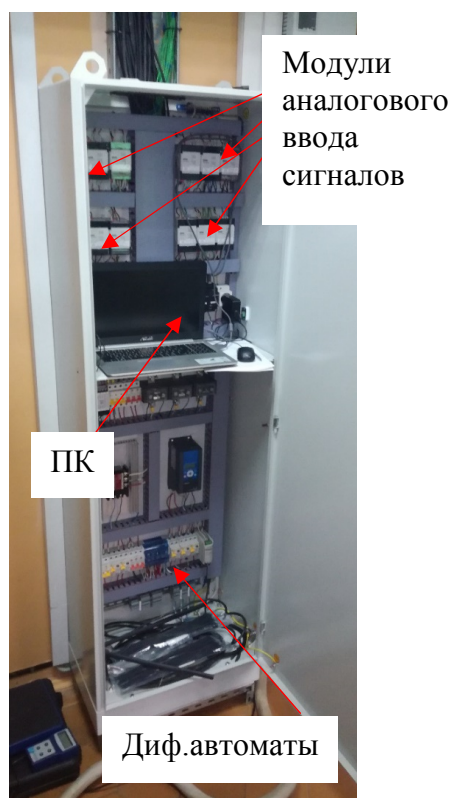


Рис. 2. Шкаф управления

Работа стенда организована по принципу органического цикла Ренкина (ОЦР). Фреон поступает в ПГ в жидкой фазе нагревается и испаряется за счет тепла, отданного со стороны ВВД [2]. На выходе из ПГ фреон поступает в конденсатор и снова поступает в ПГ. В конденсаторе происходит изменение фазового состояния фреона за счет подачи охлаждающей воды. Перед входом в ПГ установлен вспомогательный электронагреватель, предназначенный для дополнительного нагрева фреона на входе.

Для управления основным оборудованием стенда, а также для сбора и обработки информации о ходе технологического процесса был разработан шкаф управления (рис. 2). В качестве устройств сопряжения с объектами использовались модули аналогового и дискретного ввода/вывода фирмы ОВЕН, опрос которых выполнялся по физической линии RS-485 протоколом ModBus RTU.

Формирование запросов цифровой сети, сбор и первичная обработка данных выполнялся программным обеспечением LabView с периодом в 1 секунду.

Экспериментальные исследования моделей элементов теплоутилизационной системы с ОРТ при переменном расходе охлаждающей воды в конденсаторе. В результате проведения испытаний получены измерения основных термодинамических параметров работы стенда ПГ с компактным перегревателем при переменном расходе охлаждающей воды на конденсатор. Расчеты были проведены как для всей поверхности теплообмена ПГ, так и для двух участков по отдельности, как это показано на рис.3.

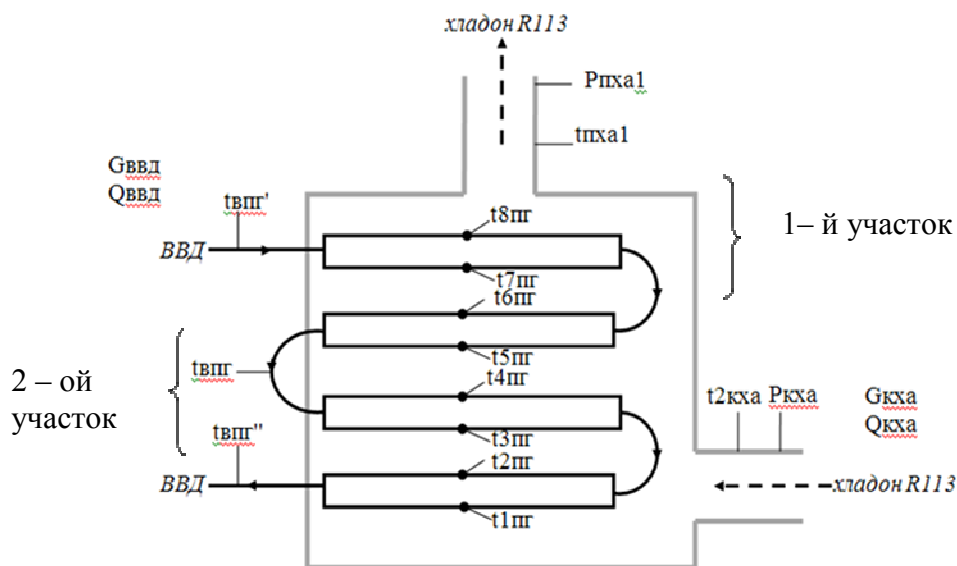


Рис. 3. Схема ПГ с обозначениями расчетных участков

На рис. 4 представлен результат эксперимента в виде графической зависимости коэффициента α ($\text{кВт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) теплоотдачи ВВД от греющей среды к стенкам трубок ПГ от величины теплового потока q ($\text{кВт}/\text{м}^2$) на различных режимах работы стенда.

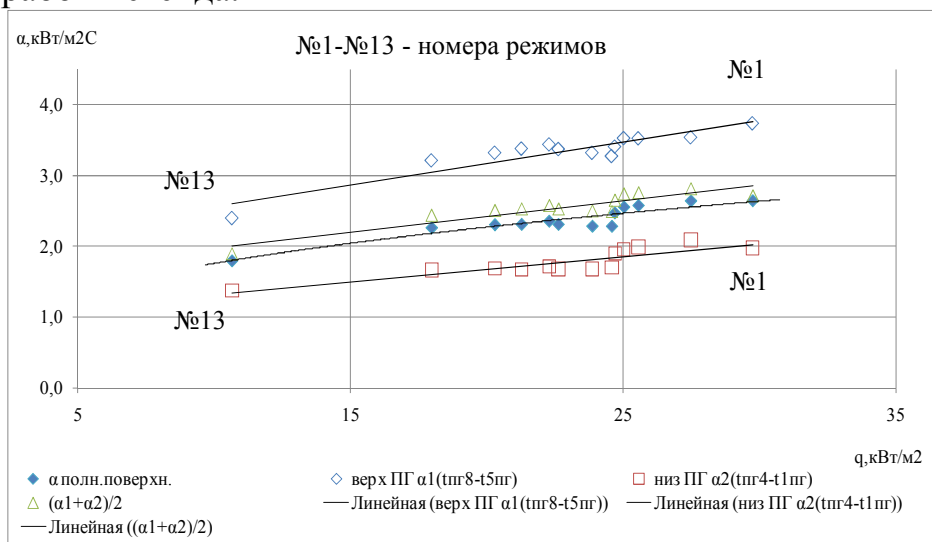


Рис. 4. График зависимости коэффициента α ($\text{кВт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) теплоотдачи ВВД к стенкам трубок ПГ от теплового потока q ($\text{кВт}/\text{м}^2$),

Заключение. В результате эксперимента были получены численные значения основных термодинамических характеристик парогенератора: среднее значение коэффициента теплоотдачи α (кВт/м²*°С) для всей поверхности теплообмена ПГ для всех режимов испытаний лежит в пределах 1,9 – 2,6 кВт/ м²*°С, тепловой поток q (кВт/ м²) в пределах 17-23 кВт/ м² [3]. Данные зависимости будут использованы при построении математической модели парогенератора и идентификации его параметров. Особенностью математической модели является интервальная неопределенность его параметров. В связи с указанным, синтез регуляторов должен выполняться в условиях параметрической неопределенности объекта управления. Регулятор должен иметь робастные свойства по отношению к указанной неопределенности.

Список литературы

[1]. Белов Г.В. Органический цикл Ренкина и его применение в альтернативной энергетике / Г.В. Белов, М.А. Дорохова // Научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Наука и образование, 2014. – №2. – С. 99-124.

[2]. Янчошек Л., Кунц П. Органический цикл Ренкина: использование в когенерации // Турбины и дизели – март апрель 2012. – С. 50–53.

[3]. Отчет ПНИЭР № госрегистрации АААА-А17-117121920142-3 3 этап ЗАО НПВП «Турбоконт»: «Разработка и экспериментальная апробация научно-технических решений по созданию конкурентоспособных модульных энергоустановок на геотермальных источниках в регионах с ограниченными водными ресурсами», – С. 39–54.

Милосердов Владислав Олегович – аспирант ЗАО НПВП ТУРБОКОН.
E-mail: miloserdovvo@gmail.com

Н.В. Щербаков, М.О. Корлякова

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕКСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Работа направлена на решение задачи классификации предложений на русском языке с помощью модели машинного обучения (классификатора) в рамках помощника для мессенджера Telegram (так называемого, Telegram бота).

Классификация текста как задача обработки естественного языка (NLP). Обработка естественного языка – область искусственного интеллекта, изучающая взаимодействия между компьютерными и естественными языками. Классификация текста – разновидность задач обработки естественного языка, в рамках которой на вход модели подается текст, а выходом модели является класс, к которому текст принадлежит. Сложность этой задачи заключается в огромном количестве вариантов изложения одного и того же смысла в рамках естественно-языкового текста.

Рассмотрим классификацию предложений для текста на русском языке, характеризующих траты пользователей Telegram бота, по следующим категориям: «ЖКХ», «Питание», «Здоровье», «Транспорт», «Развлечения». Например, предложение типа «Оплатил счет за воду» будет классифицировано как «ЖКХ», а предложение «Пообедал в столовой» будет отнесено к категории «Питание», но и «Купил воды» так же отнесем к этой категории. Это делает задачи классификации коротких текстовых отрывков особенно сложной, т.к. отсутствует контекстное окружение.

Представление входных данных для задачи классификации текста. Особенностью моделей машинного обучения является то, что они не могут напрямую работать с текстом, требуется представление входных данных (текста) в виде численного вектора.

Существуют несколько основных способов представления текстовых данных в виде векторов. Одним из них является метод «BagofWords». Работа данного метода основана на том, что текст, содержащий N слов, представляется в виде целочисленного вектора в N -мерном пространстве. Для представления фрагмента текста в рамках данного метода кодирования требуется найти все уникальные слова, и подсчитать их количество. Вектор числа вхождений каждого из уникальных слов является представлением фрагмента в векторном пространстве. Главным недостатком данного метода является то, что для фрагмента текста, содержащего N слов, требуется вектор длиной N .

Более предпочтительным методом для решения поставленной задачи классификации текста по категориям является использование метода «TF-IDF». Данный метод основан на сопоставлении каждому слову, содержащемуся во фрагментах текста, меры «TF-IDF».

Представление данных в форме вектора «TF-IDF». TF-IDF – статистическая мера, используемая для оценки важности слова в контексте доку-

мента, являющегося частью коллекции документов (фрагментов текста). Данная мера является очень важной, поскольку любой текст содержит большое количество неинформативных слов, в числе которых предлоги, междометия, некоторые прилагательные, наречия, и другие части речи. Данная мера позволяет найти наиболее информативные слова для классификации текстов. Мера «TF-IDF» рассчитывается в три этапа [1]. На первом этапе рассчитывается значение «TF»:

$$TF(t, d) = \frac{n_t}{\sum_k n_k},$$

где n_t – число вхождений слова t в документ, $\sum_k n_k$ – общее число слов в документе.

На втором этапе рассчитывается значение «IDF»:

$$IDF(t, D) = \log \frac{|D|}{|\{d_i \in D | t \in d_i\}|},$$

где $|D|$ – число документов в коллекции, $|\{d_i \in D | t \in d_i\}|$ – число документов из коллекции D , в которых встречается слово t .

На третьем этапе рассчитывается значение метрики «TF-IDF»:

$$TF - IDF(t, d, D) = TF(t, d) \cdot IDF(t, D).$$

Преимуществом данного метода представления фрагментов текста является то, что, по сравнению с методом «BagofWords», с помощью данного метода можно отобрать наиболее информативные слова и сократить размерность вектора представления текстовых фрагментов до M (M – число информативных слов).

Выбор модели машинного обучения. В качестве модели машинного обучения было принято использовать модель мультиклассового классификатора NaiveBayes (NB), основанного на теореме Байеса, согласно которой для предсказаний классов используются априорные вероятности [2]. Данный алгоритм хорошо подходит для больших данных, поскольку он рассматривает каждый признак (в данном контексте каждое слово) независимо, рассчитывая вероятность принадлежности фрагмента текста каждой категории, а затем выбирает наибольшую вероятность и по ней определяется категория текста.

Подготовка данных для модели машинного обучения. Основной проблемой при решении задачи классификации текста на русском языке являлась генерация релевантных данных, в следствии отсутствия готовых наборов данных на русском языке, подходящих под решение поставленной задачи. В следствии этого было принято решение о разработке алгоритма генерации корпуса (совокупности фрагментов текста) на русском языке из текстов, находящихся в свободном доступе в сети «Интернет». На вход алгоритма подается заранее найденный большой фрагмент текста, относящийся к определенной категории.

Стоит отметить, что важным этапом при обработке «сырых» текстовых данных является нормализация слов (сопоставление каждому слову из исходного набора данных нормальной формы этого слова). Например, слову «машины» будет сопоставлено слово «машина», а слову «красивое» – «красивый». Этот шаг позволяет сократить размерность вектора представления слов, поскольку несколько форм одного слова будут соответствовать одной нормальной форме слова.

Алгоритм производит разделение данного текста на документы (фрагменты текста) по 5 – 12 слов, учитывая знаки пунктуации. В результате такого разделения получаем наборы данных общей длиной свыше 3000 строк (документов), относящихся к каждой из категорий, переводим эти данные в векторную форму и полученный набор векторов используем для обучения модели машинного обучения.

Селекция признаков для модели машинного обучения. Важным шагом при решении любой задачи с использованием моделей машинного обучения является селекция признаков. Данный этап позволяет сократить число признаков (в данной задаче – уникальных слов, на основе которых производится разложение фрагментов текста по базису) для уменьшения объема обрабатываемых данных в модели машинного обучения.

На данном этапе было принято решение об использовании критерия Хи-квадрат для анализа взаимосвязи каждого из уникальных слов с целевой переменной (категория текста). Использование данного критерия позволило найти наиболее информативные слова, использование которых дало бы максимальный эффект для классификации. Отбор слов производился на основе фильтрации значения *p value* (если *p value* больше порогового значения в 0.95 – слово считается важным, оно остается).

После отбора всех информативных уникальных слов (селекции признаков), из обучающей выборки были удалены пустые строки (содержащие только нулевые значения), поскольку они уже не несут никакой полезной информации для решения задачи классификации.

Валидация модели. В результате обучения выбранной модели машинного обучения был получен очень хороший результат. Построим зависимость метрики Ассигасу от числа M (количество признаков в модели).

Из рисунка видно, что наиболее оптимальным значением M является 1900. Метрика Ассигасу для выбранной модели при этом значении M была равна 0.83, что означает, что модель верно классифицировала 83 процентов фрагментов текста из тестовой выборки (которая не была использована во время обучения). Тренировочная выборка состояла из 3900 документов, а тестовая – из 1200. Однако, стоит отметить, что из-за метода генерации документов, описанном выше, выборки не являются сбалансированными. В качестве улучшения качества работы модели можно предложить увеличение выборки для обучения и использование сбалансированной выборки для обучения.

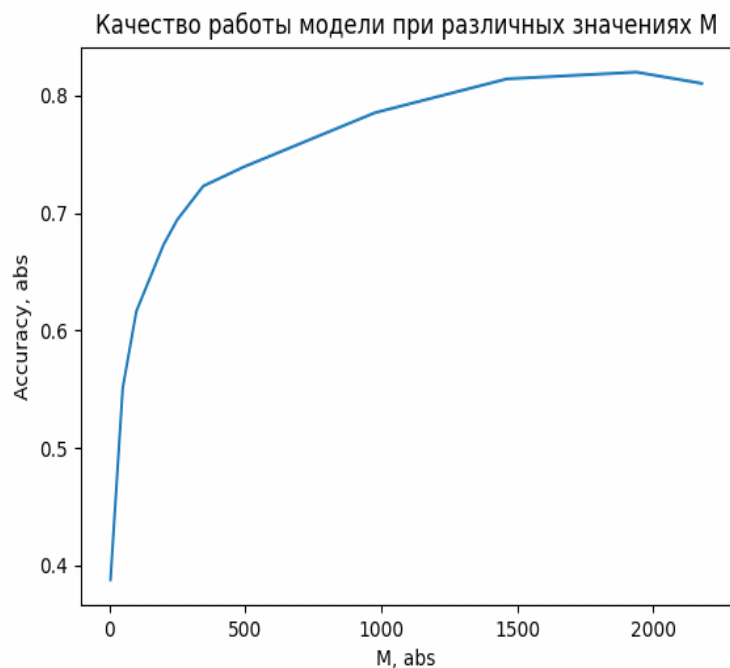


Рис. 1. Зависимость метрики Аккурасу от количества признаков в модели

Список литературы

[1]. *Федоровский А.Н, Костин М.Ю.* «Труды РОМИП'2005» Труды третьего российского семинара по оценке методов информационного поиска. / Под ред. И. С. Некрестьянова. – С. 106-124.

[2]. *Mauro Di Pietro.* Text Classification with NLP: Tf-Idfvs Word2Vec vs BERT. – Текст: электронный // TowardsDataScience: Интернет-портал. – URL: <https://towardsdatascience.com/text-classification-with-nlp-tf-idf-vs-word2vec-vs-bert-41ff868d1794> (дата обращения: 05.11.2020).

Щербаков Никита Владиславович – студент, бакалавр. E-mail: shcerbackow@yandex.ru

Корлякова Мария Олеговна – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: mkorlyakova@yandex.ru

СЕКЦИЯ 6.

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Подземные воды являются одним из источников водоснабжения и важнейшим полезным ископаемым. Пресные подземные воды, наряду с поверхностными водами, являются основой водного фонда России и служат, главным образом, для питьевых целей. В условиях нарастающего ухудшения качества поверхностных вод пресные подземные воды являются нередко единственным источником обеспечения населения питьевой водой высокого качества, защищенным от загрязнения. Удовлетворение текущих и перспективных потребностей населения России в качественной питьевой воде приобретает большее социально-экономическое значение.

Ресурсная база пресных подземных вод для питьевого водоснабжения населения и обеспечения водой объектов промышленности Российской Федерации характеризуется прогнозными ресурсами, оцененными запасами подземных вод месторождений, добычей и использованием подземных вод.

В работе проанализированы данные показатели для подземных вод Калужской области за 2018 и 2019 гг. (в предыдущие годы мониторинг подземных вод в Калужской области не проводился в связи с отсутствием финансирования).

По состоянию на 2018 и 2019 гг. прогнозные ресурсы подземных вод не менялись и составили по ранее выполненным оценкам 4491,6 тыс. куб. м³/сут. Степень разведанности и освоения прогнозных ресурсов пресных подземных вод уменьшилась в 2019 г. по сравнению с 2018 г. и составила соответственно 22 % и 4 % (2018 г.); 15,3 % и 3,7 % (2019 г.).

Общее количество разведанных и оцененных запасов пресных подземных вод, пригодных для хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения региона, составило 997,9 тыс. м³/сут. в 2018 г., а в 2019 г. уменьшилось примерно на 30 % и составило 687,4 тыс. м³/сут.

В тоже время степень освоения запасов выросла на 5,5 % в 2019 г. по сравнению с 2018 г. (табл. 1).

Таблица 1.

Динамика прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод Калужской области за 2018 и 2019 гг.

Годы	Прогнозные ресурсы, тыс. м ³ /сут.	Запасы подземных вод, тыс. м ³ /сут.	Степень разведанности ресурсов, %	Степень освоения, %	
				ресурсов	запасов
2018	4491,6	997,9	22	4	18,8
2019	4491,6	687,4	15,3	3,7	24,3

Общий объем добычи подземных вод в 2019 г. снизился на 7,5 % по сравнению с 2018 г. и составил соответственно 222,3 м³/сут. (2018 г.) и 205,4 тыс. м³/сут. (2019 г.). В том числе на участках с утвержденными запасами было добыто 187,1 тыс. м³/сут. в 2018 г. и 167,4 тыс. м³/сут. в 2019 г. (также наблюдается снижение добычи на 10,5 %).

Однако, использование подземных вод, наоборот, в 2019 г. возросло по сравнению с 2018 г. на 12 % и составило соответственно 168,0 тыс. м³/сут. (2018 г.) и 187,7 тыс. м³/сут. (2019 г.).

Структура целевого использования подземных вод также претерпела существенные изменения (табл. 2).

Таблица 2.

**Динамика добычи и использования подземных вод
Калужской области за 2018 и 2019 гг.**

Годы		2018	2019
Общий объем добычи, тыс. м ³ /сут.		222,3	205,4
В т. ч. на участках с утвержденными запасами, тыс. м ³ /сут.		187,1	167,4
Использование, тыс. м ³ /сут:		168,0	187,7
В т. ч., %	на хозяйственно-питьевое водоснабжение	67	52,4
	на производственно-техническое водоснабжение	21	18,7
	на нужды сельского хозяйства	12	6,5
	передано в другие субъекты РФ	-	13,8

Из рис. 1, на котором представлена динамика общего объема добычи и использования подземных вод Калужской области за 2018 и 2019 гг., хорошо видно, что разница между добычей и использованием подземных вод в 2019 г. существенно снизилась по сравнению с 2018 г.

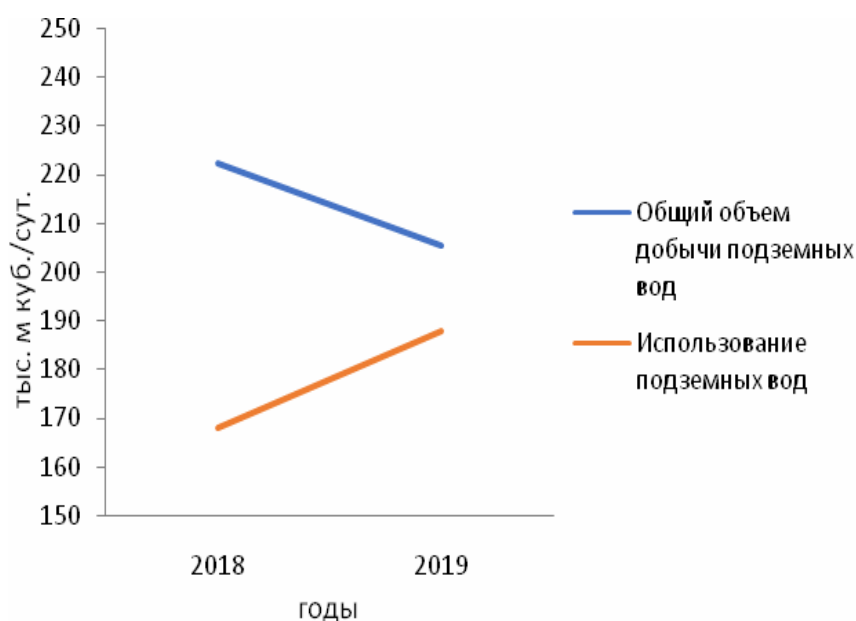


Рис. 1. Динамика общего объема добычи и использования подземных вод Калужской области за 2018 и 2019 гг.

В качестве источников водоснабжения на территории Калужской области широко используются подземные воды алексинско-тарусского терригенно-карбонатного водоносного комплекса и упинского карбонатного водоносного горизонта, объем добычи подземных вод по которым достигает 85% от общего водоотбора по региону. Для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения и технологического обеспечения водой промышленных и сельскохозяйственных объектов также используются подземные воды каширского и протвинского водоносных горизонтов в северной части области и подземные воды озерско-хованского водоносного горизонта на юге области.

Охрана подземных вод от загрязнения представляет собой сложную задачу, что связано с необходимостью своевременно предупредить возможность поступления загрязнителя в водоносный пласт, так как ликвидация загрязнения подземных вод – сложный, дорогостоящий, а порой и просто невозможный процесс.

Главную роль в предупреждении загрязнения подземных вод играют мероприятия общего характера. К их числу в первую очередь следует отнести все меры по предотвращению загрязнения рек и водоемов; совершенствование методов очистки промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод; создание производств с бессточной технологией и замкнутых систем промышленного водоснабжения и канализации; изоляцию коммуникации, несущих сточные воды; ликвидацию или очистку газодымовых выбросов на предприятиях; ограничение использования ядохимикатов и удобрений на сельскохозяйственных территориях; глубокое подземное захоронение особо вредных стоков, очистка которых экономически не оправдана.

Профилактике загрязнения подземных вод способствует мониторинг качества подземных вод. Анализ данных мониторинга позволяет получить пространственно-временную картину загрязнения, объяснить произошедшие изменения и дать прогноз ожидаемых изменений качества подземных вод.

Список литературы

[1]. *Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году»* Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Электронный ресурс] / Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 30.12.2019г. URL:

http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2018_/ (дата обращения: 02.11.2020).

[2]. *Доклад «О состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории калужской области в 2018 году»* Министерства природных ресурсов и экологии Калужской области [Электронный ресурс] / Официальный портал органов власти Калужской области, г. Калуга, 2019 г.

URL:[https://admoblkaluga.ru/upload/minprirod/doklad/Доклад%202018%20\(раб.\).pdf](https://admoblkaluga.ru/upload/minprirod/doklad/Доклад%202018%20(раб.).pdf)(дата обращения: 02.11.2020).

[3]. *Доклад «О состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории калужской области в 2019 году»* Министерства природных ресурсов и экологии Калужской области [Электронный ресурс] / Официальный портал органов власти Калужской области, г. Калуга, 2020 г. URL:https://admoblkaluga.ru/upload/minekolog/Doc_2019/2709%20Калуга%20Природа%20Макет.pdf (дата обращения: 02.11.2020).

Никулина Светлана Николаевна – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: voinsveta579@mail.ru

Чериканова Евгения Андреевна – старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: simplemiracle@yandex.ru

АНАЛИЗ ПРОВЕДЕНИЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДАМИ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ И ОЗОНИРОВАНИЯ

На сегодняшний день наиболее распространенными методами очистки сточных вод является УФ-облучение и озонирование.

Ультрафиолетовое обеззараживание воды

Ультрафиолетовое обеззараживание воды – это обработка без химических веществ. Этот метод обработки для человека намного безопаснее, чем другие методы. Фотохимическая реакция, создаваемая ультрафиолетом, безвозвратно изменяют ДНК и РНК микробов, вследствие чего у них пропадает способность к регенерации и размножению. Кроме очистки, ультрафиолетовое излучение используется на различных промышленных объектах.

Норма ультрафиолета

Для воды разного назначения используется абсолютно разный ультрафиолет. Положенная норма Ультрафиолета для обеззараживания воды разного типа:

- - Сточная вода – расход не меньше 30 мДж на см. кв;
- - Питьевая вода – расход не меньше 25 мДж на см. кв.

Принцип действия УФ-излучения

УФ-дезинфекция выполняется при облучении находящихся в воде микроорганизмов УФ-излучением определенной интенсивности в течение определенного периода времени. В результате такого облучения микроорганизмы «микробиологически» погибают, т. к. они теряют способность воспроизводства.

УФ-излучение, имеющее бактерицидную длину волны 260 нм или близкую длину волны, проникает сквозь стенку клетки переносимого водой микроорганизма и поглощается ДНК, называемой генетической цепочкой микроорганизма, в результате чего процесс воспроизводства микроорганизма прекращается.

Лишение микроорганизма способности воспроизводства обычно называется дезактивацией этого микроорганизма. УФ-свет с длиной волны 185 нм применяется для снижения концентрации полностью органического углерода (TotalOrganicCarbon – ТОС).

Положительные и отрицательные качества метода

Достоинства:

- наименее «искусственный» – ультрафиолетовые лучи;
- универсальность и эффективность поражения различных микроорганизмов – УФ-лучи уничтожают не только вегетативные, но и спорообразующие бактерии, которые при хлорировании обычными нормативными дозами хлора сохраняют жизнеспособность;
- физико-химический состав обрабатываемой воды сохраняется;
- отсутствие ограничения по верхнему пределу дозы;

- не требуется организовывать специальную систему безопасности, как при хлорировании и озонировании;
- отсутствуют вторичные продукты;
- не нужно создавать реагентное хозяйство;
- оборудование работает без специального обслуживающего персонала;
- в соотношении «качество обеззараживания цена» метод лучше других.

Недостатки:

- падение эффективности при обработке плохо очищенной воды (мутная, цветная вода плохо «просвечивается»);
- периодическая отмывка ламп от налетов осадков, требующаяся при обработке мутной и жесткой воды;
- отсутствует «последствие», то есть возможность вторичного (после обработки излучением) заражения воды [2].

Очистка воды озонированием

Озон – активная форма кислорода, является очень мощным окислителем и стерилизующим агентом. Он обеспечивает окисление металлов и дезактивацию бактерицидных, даже вирусных и споровых загрязнений, что недостижимо при других методах стерилизации (таких как хлорирование, обработка ультрафиолетовым излучением и т.п.). Основным плюсом данного метода – это ограниченное время активности озона.

В процессе прохождения насыщенной озоном воды через фильтрозагрузку происходит переход терхатомарного озона в обычный двухатомарный кислород, и происходит полная ликвидация непрореагировавшего озона. Он превращается обратно в кислород, из которого он и был произведен. На оборудовании дополнительно устанавливается отдельный деструктор озона, разлагающий озон при «дыхании» установки. Вода же, пройдя через угольный фильтр-осветлитель подается непосредственно потребителю.

Процесс обработки воды озоном происходит достаточно быстро, при этом не требуется никаких расходных реагентов, материалов, регламентных работ. В самой воде не образуется вредных примесей, сохраняется необходимый организму минеральный состав и уровень Ph, другими словами, озонирование является абсолютной экологичной природной технологией.

Большинство самых распространенных загрязнений, это металлы (за исключением золота и платины) и другие загрязнения — практически все органического происхождения, подвержены непосредственно озоновому окислению. Имея повышенную стерилизующую способность, озон оказывает мощное обеззараживающее воздействие на различных возбудителей вирусных заболеваний, на споры, невосприимчивые к хлорной обработке. Благодаря обработке воды озоном, потребитель всегда получает очищенную, насыщенную кислородом и обеззараженную питьевую воду, самого высокого качества.

Озон не только эффективно очищает воду, но и полностью её обеззараживает.

Озонирование широко применяется при очистке воды из подземных и поверхностных источников, оборотной воды бассейнов (озонатор для бассейна), используется для обеззараживания бутилированной воды, удаляя из нее все не-

приятные привкусы и запахи, применяется для дезодорации воздуха, очистки и обеззараживании вентиляционных выбросов и сточных вод и т.д. [1].

Положительные и отрицательные качества метода

Достоинства:

- разлагаясь, озон обогащает воду кислородом, что улучшает её вкус;
- при окислении озоном органических соединений не образуется каких-либо опасных для здоровья вторичных продуктов;
- озон не меняет рН воды и не удаляет из нее необходимые организму ионы Ca, Mg, K, Na и т. п.;
- озон губителен для любых микроорганизмов, которые могут встретиться в воде, в том числе и устойчивых к другим дезинфицирующим средствам;
- озон действует в течение секунд и уничтожает микроорганизмы в сотни раз быстрее, чем любые другие дезинфекторы;
- озон вырабатывается на месте, не требуя хранения и перевозки.

Недостатки:

- метод является дорогостоящим;
- озон – токсичный газ, поэтому любое его использование требует тщательного контроля техники безопасности;
- из-за насыщения воды озono-воздушной смесью она приобретает высокую окислительную способность и становится коррозионно-активной, что требует использования оборудования и материалов, стойких к озону (трубы из ПВХ или нержавеющей стали, реакторы и емкости для хранения озонированной воды из ПВХ или бетона) и т. п.;
- при неправильном подборе режима озонирования воды и дозы озона возможно образование побочных продуктов окисления, которые плохо удаляются в процессе очистки и могут быть более токсичны, чем исходные загрязнения. В некоторых случаях озонирование воды может вызвать ухудшение процессов коагуляции и, более того, привнести в обрабатываемую воду химические загрязнения в повышенных концентрациях, например, фенолов;
- непродолжительность воздействия. Это связано с тем, что озон быстро разлагается в воде и не обладает пролонгирующим бактерицидным действием;
- при озонировании воды многие органические загрязнения подвергаются деструкции, в результате увеличивается количество биоразлагаемых соединений, в воде повышается концентрация так называемого «ассимилируемого органического углерода», который легко усваивается микроорганизмами, способствуя их жизнедеятельности. Это создает благоприятные условия для повторного бактериального загрязнения очищенной воды.

Исходя из проведенного анализа мы сделали вывод, что УФ-облучение сточных вод более безопасно для человека, но озонирование намного лучше очищает сточную воду. Исходя из полученных данных у каждого метода есть свои плюсы и минусы.

Использование озона для дезинфекции воды. Наиболее часто озон применяется в установках очистки и обеззараживания воды в качестве сильного окислителя, в устройствах водоподготовки на водозаборных станциях, при производстве питьевой бутилированной воды. В отличие от хлорирования и

фторирования, при озонировании в воду не вносятся никаких дополнительных химических соединений. После озонирования, озон быстро распадается. При этом минеральный состав и рН воды остаются без изменений. Органические загрязнения в воде разрушаются, предотвращая тем самым дальнейшее развитие микроорганизмов. Под воздействием озона разрушаются большинство гербицидов, пестицидов, нефтепродукты, моющие средства, многие соединения серы и хлора. Быстро распадаясь озон превращается в кислород, улучшая вкусовые свойства воды. Установки для озонирования воды находят свое применение в устройствах очистки воды в плавательных бассейнах, аквапарках и др.

Использование УФ-облучения для дезинфекции воды. Находит свое применение ультрафиолетовое излучение для обеззараживания питьевой воды. И если ранее с этой целью использовался хлор, то на сегодняшний день уже достаточно хорошо изучено его негативное влияние на организм. Так, пары этого вещества способны вызвать отравление. Попадание в организм самого хлора провоцирует возникновение онкологических заболеваний. Именно поэтому для обеззараживания воды в частных домах все чаще стали применяться ультрафиолетовые лампы.

Применяются УФ-лучи и в бассейнах. Ультрафиолетовые излучатели для устранения бактерий используют в пищевой, химической и фармакологической промышленности. Этим сферам также нужна чистая вода.

Список литературы

[1]. *Ветошкин А.Г.* Инженерная защита гидросферы от сбросов сточных вод : учебное пособие : [16+] / А.Г. Ветошкин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 297 с. : ил., табл., схем. – (Инженерная экология для бакалавриата). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564892> (дата обращения: 02.11.2020). – Библиогр.: С. 290-292. – ISBN 978-5-9729-0277-4. – Текст : электронный

[2]. *Технология* очистки сточных вод : учебное пособие / Сост. А.П. Карманов, И.Н. Полина. – М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. – 213 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493888> (дата обращения: 02.11.2020). – Библиогр.: с. 210. – ISBN 978-5-9729-0238-5. – Текст : электронный.

Генералова Анастасия Игоревна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: anastasiageneral99@yandex.ru

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД БИОФИЛЬТРОВ И ОКСИТЕНКОВ

На сегодняшний день наиболее распространенными сооружениями биологической очистки сточных вод являются биофильтры и окситенки.

Биофильтры. Биофильтры – это сооружения, в корпусе которых размещается кусковая насадка (загрузка) и предусмотрены распределительные устройства для сточной воды. В биофильтрах сточная вода фильтруется через слой загрузки, покрытый пленкой из микроорганизмов.

В качестве загрузки используют различные материалы с высокой пористостью, малой плотностью и высокой удельной поверхностью: щебень, гравий, шлак, керамзит, керамические и пластмассовые кольца, кубы, шары, цилиндры, шестигранные блоки, металлические и пластмассовые сетки, скрученные в рулоны.

Биологический фильтр – сооружение, в котором сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической пленкой, образованной колониями микроорганизмов. Биофильтр состоит из следующих основных частей:

а) фильтрующей загрузки (тело фильтра) из шлака, гравия, керамзита, щебня, пластмасс, асбестоцемента, помещенной обычно в резервуаре с водонепроницаемыми или водонепроницаемыми стенками;

б) водораспределительного устройства, обеспечивающего равномерное с небольшими интервалами орошение сточной водой поверхности загрузки биофильтра;

в) дренажного устройства для удаления профильтрованной воды;

г) воздухораспределительного устройства, с помощью которого поступает необходимый для окислительного процесса воздух.

Процессы окисления, происходящие в биофильтре, аналогичны процессам, происходящим в других сооружениях биологической очистки, и в первую очередь на полях орошения и полях фильтрации. Однако в биофильтре эти процессы протекают значительно интенсивнее.

Проходя через загрузку биофильтра, загрязненная вода оставляет в ней нерастворенные примеси, не осевшие в первичных отстойниках, а также коллоидные и растворенные органические вещества, сорбируемые биологической пленкой. Густо заселяющие биопленку микроорганизмы окисляют органические вещества и отсюда черпают энергию, необходимую для своей жизнедеятельности. Часть органических веществ микроорганизмы используют как пластический материал для увеличения своей массы. Таким образом, из сточной воды удаляются органические вещества и в то же время увеличивается масса активной биологической пленки в теле биофильтра. Отработанная и омертвевшая пленка смывается протекающей

сточной водой и выносятся из тела биофильтра. Необходимый для биохимического процесса кислород воздуха поступает в толщу загрузки путем естественной и искусственной вентиляции фильтра.

Принцип работы биофильтра основан на естественной способности микроорганизмов извлекать из проходящих сквозь них примеси органических и неорганических летучих веществ. Включая органические вещества искусственного происхождения, окислять и разлагать их до воды и углекислого газа.

Главным фильтрующим элементом биофильтра для очистки и воздуха, и воды является фильтрующий слой. На поверхности твердого пористого носителя микроорганизмы образуют биологически активную пленку. Токсические вещества из воздуха проходят сквозь фильтрующий элемент, который сорбирует их.

Далее эти вещества в растворенном виде проникают к микробным клеткам, включаются в них и подвергаются деструкции. В качестве носителя для фильтрующего слоя используются природные материалы. Эти материалы содержат в своем составе различные минеральные соли и вещества, необходимые для развития микроорганизмов.

Очиститель воздуха(газов) может активно работать при влажности воздуха от 60% до 100% включительно. Это связано с тем, что все химические реакции нейтрализации вредных выбросов происходят с продуктами жизнедеятельности микроорганизмов (ферментами), а микроорганизмы лучше развиваются во влажной среде.

Плюсами биофильтров являются:

1. Низкая эксплуатационная цена. Нет потребности менять фильтрующие инструмент, т.к. колонии бактерий могут жить до 5 лет.
2. Экологичная природная система очистки, основанная на естественных биологических процессах.
3. Большая эффективность в очистки.
4. Не требуется утилизации после очистки.
5. Правильно спроектированные биофильтры не требуют обслуживания.

Минусом биофильтра можно назвать его большой размер, поэтому он не подойдет для маленьких помещений.

Также при работе с биофильтром нужно понимать, что эта система очистки не очищает от частиц пыли и некоторых химических соединений, поэтому перед биофильтром нужно обеспечить очистку от них.

Окситенк. Окситенк является высокоэффективным (принципиально новым) сооружением, служащим для осуществления интенсивного процесса биологической очистки сточных вод с применением чистого кислорода и высоких концентраций активного ила (рис. 1).

Конструктивно окситенк выполнен в виде резервуара круглой формы в плане с цилиндрической перегородкой, которая разделяет весь объем на зону аэрации (центральная часть) и илоотделитель (по периферии). В средней части цилиндрической перегородки устроены окна для перепуска иловой

смеси из зоны аэрации в илоотделитель; в нижней части перегородки - окна для поступления возвратного ила в зону аэрации.

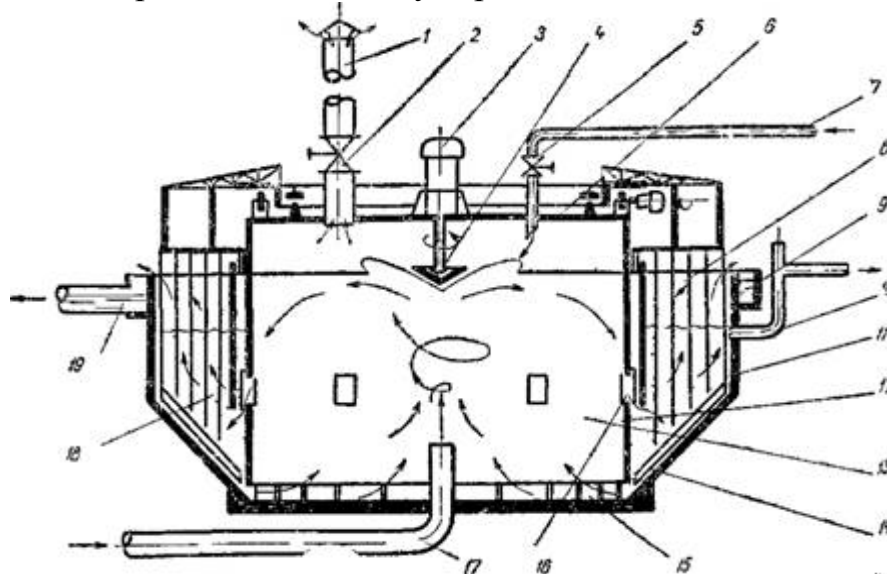


Рис.1. Окситенк: 1 – продувный трубопровод; 2 и 5 – задвижки с электрическим приводом; 3 – электродвигатель; 4 – турбоаэратор, 6 – герметическое перекрытие; 7 – трубопровод подачи кислорода; 8 – вертикальные стержни; 9 – сборный лоток; 10 – труба для сброса избыточного ила; 11 – круглый резервуар; 12 – цилиндрическая перегородка, 13 – зона аэрации; 14 – скребок; 15 – окна для поступления возвратного ила в зону аэрации; 16 – окна для перепуска иловой смеси из зоны аэрации в илоотделитель; 17 – труба для подачи сточной воды в зону аэрации; 18 – илоотделитель; 19 – труба для отвода очищенной воды

Зона аэрации оборудована герметическим перекрытием, на котором устанавливается электродвигатель турбоаэратора. На перекрытии смонтирован трубопровод подачи кислорода и продувочный трубопровод с электрозадвижками.

Илоотделитель оборудован перемешивающим устройством, представляющим собой радиально расположенные решетки из вертикальных стержней $d = 30 \dots 50$ мм, расположенных друг от друга на расстоянии 300 мм.

В нижней части решеток размещается шарнирно подвешенный скребок. Илоотделитель работает со взвешенным слоем активного ила, уровень которого стабилизируется автоматически путем сброса избыточного ила через трубу.

Сточная вода поступает в зону аэрации по трубе. Под воздействием скоростного напора, развиваемого турбоаэратором, иловая смесь через окна поступает в илоотделитель. Благодаря направляющим щиткам жидкость в илоотделителе медленно движется по окружности. В сочетании с перемешивающим устройством все это значительно интенсифицирует процесс отделения и уплотнения ила. Очищенная вода проходит сквозь слой взвешенного активного ила, доочищается от взвешенных и растворенных ор-

ганических веществ, поступает в сборный лоток и отводится по трубе. Возвратный активный ил опускается по спирали вниз и через окна поступает в камеру аэрации.

Окситенк оборудуется системой автоматизации, обеспечивающей подачу кислорода в зону аэрации в строгом соответствии со скоростью его потребления. Система автоматически поддерживает заданную концентрацию растворенного кислорода в иловой смеси окситенка при любых изменениях состава, концентрации или расхода сточной воды.

Отличительными признаками окситенка являются высокая эффективность использования подаваемого кислорода, значительное сокращение общего объема сооружения в связи с двухцелевым использованием объемов илоотделителя, а также автоматическое регулирование подачи кислорода в соответствии со скоростью его использования.

В газовой смеси над поверхностью воды в зоне аэрации окситенка поддерживается высокое содержание кислорода. Благодаря этому стало возможным поддерживать высокие концентрации растворенного кислорода в иловой смеси при низких затратах электроэнергии на его растворение. Высокая концентрация растворенного кислорода значительно увеличивает скорость окисления и позволяет повысить дозу активного ила в сооружении

Благодаря значительному запасу растворенного кислорода в иловой смеси, поступающей в илоотделитель, и её перемешиванию в циркуляционной зоне одновременно и интенсивно протекают два процесса - биологическое окисление и разделение иловой смеси. В зоне взвешенного фильтра также одновременно протекают два процесса - осветление очищенной воды и доокисление оставшихся органических веществ.

Оптимальными параметрами технологического режима окситенка при очистке сточных вод от химических производств являются: концентрация растворенного кислорода 10-12 мг/л (в аэротенках 2-4 мг/л), доза ила 6-8 г/л (в аэротенках 2,5-3 г/л), период аэрации (включая пребывание в илоотделителе) 2,5-3 ч (в аэротенках 16-20 ч). Эффективность использования кислорода в окситенках 90-95%- При этом окислительная мощность окситенков выше, чем аэротенков, в 5-6 раз; капитальные затраты меньше в 1,5-2 раза; эксплуатационные - в 2,5-3 раза.

Исходя из проведенного анализа можно сделать вывод, что у каждого сооружения есть свои плюсы и минусы.

Плюсами биофильтров являются:

1. Низкая эксплуатационная цена. Нет потребности менять фильтрующие инструмент, т.к. колонии бактерий могут жить до 5 лет.
2. Экологичная природная система очистки, основанная на естественных биологических процессах.
3. Большая эффективность в очистки.
4. Не требуется утилизации после очистки.
5. Правильно спроектированные биофильтры не требуют обслуживания.

Минусом биофилтра можно назвать его большой размер, поэтому он не подойдет для маленьких помещений.

Также при работе с биофилтром нужно понимать, что эта система очистки не очищает от частиц пыли и некоторых химических соединений, поэтому перед биофилтром нужно обеспечить очистку от них.

Окситенк отличается тем, что у него высокая эффективность использования подаваемого кислорода, автоматическое регулирование подачи кислорода в соответствии со скоростью его использования. Наиболее перспективно применение окситенков на объектах, которые имеют собственный технический кислород или могут получать его от соседних предприятий (например, заводы по производству синтетического каучука, а также химические, коксохимические, нефтехимические и др.).

Использование биофилтров и окситенков. Водные объекты г. Калуга служат приемниками сточных вод из бытовых хозяйств и промышленных предприятий. Зачастую они неочищенные либо плохо очищенные. Следует отметить, что преимущественная часть подобных сбросов характеризуется заметным превышением предельно допустимой концентрации и различных вредных компонентов. Для того, чтобы качественнее очищать сточные воды г. Калуга и уменьшить попадание различных веществ в водные объекты предлагается усовершенствовать очистные сооружения путем внедрения в них новейших биофилтров и окситенков.

Список литературы

[1]. *Ветошкин А.Г.* Инженерная защита гидросферы от сбросов сточных вод [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Г. Ветошкин. – 2-е изд. испр. и доп. – М.-Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. – 296 с.: ил.табл., схем – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444179>

[2]. *Ларионов Н.М.* Промышленная экология: учебник для вузов / Н.М. Ларионов, А.С. Рябышенков. – М.: Изд-во «Юрайт», 2014. – 495с.

Юнак Сабрина – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sabrina-junak@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОВРАГООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ

Согласно Большой Российской энциклопедии, овраг – это отрицательная крутосклонная, сильно разветвлённая форма рельефа, образование которой связано с деятельностью временных (иногда небольших постоянных) водотоков и часто стимулируется различными проявлениями нерационального природопользования (сведением лесов, чрезмерным выпасом, распахиванием крутых склонов и т.п.).

Образование оврагов может происходить во всех географических зонах. Поставленная в конце XIX в. проблема изучения возникновения овражной эрозии и борьбы с её последствиями, не только не утратила своей актуальности, но и широко исследуется до настоящего времени. Возникновение и последующий рост оврагов может приводить к разрушению строений и коммуникаций, к выводу из оборота ценных земель, а также к другим негативным последствиям [1].

Так как овраги не только изменяют форму рельефа, но и наносят значительный вред отраслям экономики и жизнедеятельности человека, большое внимание необходимо уделять их изучению, учету распространения и возможности образования, особенно при планировании размещения различных видов строительных объектов.

Для изучения оврагообразования могут быть использованы различные методы: линейный, т.е. измерение мерной лентой границ оврагов до предварительно установленных реперов, топографо-геодезические методы, позволяющие повысить точность измерения морфометрических показателей, а также методы аэросъёмки с использованием беспилотной малой авиации. Кроме вышеуказанных, широкое распространение в настоящее время получили наземная лазерная сканирующая съёмка и аэро- и космосъёмка [2].

Как известно, наиболее научно обоснованным и простым является деление всех оврагов по их происхождению на естественные и антропогенные [1,2].

Своим появлением и развитием естественные овраги связаны с рядом природных процессов, таких как боковая эрозия рек, оползни, карст, суффозия, катастрофические ливни и др. Природные процессы, оказывающие влияние на оврагообразование подразделяют на: климатические, морфометрические, почвенные и растительные. Предпосылки развития процессов оврагообразования, возникающие при воздействии природных факторов, усугубляются хозяйственной деятельностью человека.

Появление антропогенных оврагов происходит, прежде всего, от деятельности человека, которая оказывает влияние на состояние природных ландшафтов.

В настоящее время значительно возрастает доля техногенно обусловленных оврагов. Процессы оврагообразования возникают от инженерно-строительным воздействием на природную среду при строительстве зданий и сооружений, грунтовых и шоссейных дорог, прокладке трубопроводов, добыче полезных ископаемых.

Овражная эрозия наносит большой вред различным отраслям хозяйственной деятельности человека, поэтому её изучение важно для решения научных проблем природоохраны, а профилактические мероприятия способствуют предотвращению очагов оврагообразования [3].

Для эффективной борьбы с овражной эрозией могут быть рекомендованы три основные группы мероприятий: ликвидация существующих оврагов, стабилизация и предохранение территории от роста существующих оврагов, а также профилактические и природоохранные мероприятия, направленные на приостановление и предотвращение активного роста оврагообразования в дальнейшем.

В качестве профилактических чаще всего рекомендуются такие мероприятия, как постоянный мониторинг текущего состояния оврагов, осуществление строгого надзора за образованием овражных зон, обеспечение сохранности существующих лесов и высадку лесонасаждений для борьбы с эрозией почв строгое соблюдение мер технической и экологической безопасности при строительстве зданий и сооружений и выполнении большого объема земляных работ [3].

Список литературы

[1]. Ковалев С.Н., Никольская И.И., Веретенникова М.В. Техногенные овраги // Геоморфология. – 2016. – №2. – С.27–33.

[2]. Ковалев С.Н., Никольская И.И., Веретенникова М.В. Специфика оврагообразования в городах // Геоморфология. – 2010. – №4. – С.12–19.

[3]. Бадера В.В., Курячая Е.А. Природоохранные рекомендации и профилактические мероприятия по предотвращению очагов оврагообразования // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – №1(21). – С.161–167.

Голубина Мария Александровна – студент ФГБОУ ВО Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. E-mail: asbinam@yandex.ru

Кусачева С.А. –

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЙХОРНИИ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ

Производители продукции и её потребители постоянно сбрасывают в воду вещества, которые наносят экологический ущерб.

В этих условиях стоит проблема сохранения чистых водных ресурсов и экономного их расходования.

В настоящее время для лучшей доочистки сточных вод все больше начинают обращать внимание на использование для этой цели биологических объектов.

В процессе литературного изучения технической литературы установлено, что высшая водная растительность способна конкурировать с современными инженерными сооружениями по очистке сточных вод. В научно-исследовательской работе раскрыт вопрос об использовании современных технологий доочистки воды на очистных сооружениях с помощью биологических объектов, рассмотрены биоморфологические особенности эйхорнии и её применение в очистке воды. Выяснено, что благодаря эйхорнии создаётся биологический барьер развитию патогенной микрофлоры в стоках и проникновению её в водоемы и подземные воды.

Природный способ очистки сточных вод по эффективности сопоставим с современными методами очистки, при этом ресурсозатраты несравнимы. Эффективность эйхорнии для очистки сточных вод значительно выше привычных растений – камыша, стрелолиста, гречихи земноводной, ириса, тростника озерного и т. д.

Эйхорния (*Eichornia crassipes*) – это многолетнее травянистое водное растение семейства понтедериевых, которое относится к сорнякам. Характерными особенностями растения являются длинное корневище, такой же стебель. Черешки листьев, ввиду своей формы, наполнены воздухом, придавая положительную плавучесть соцветиями и самим листьям. Но главной особенностью растения является уникальное свойство – эйхорния умеет «переваривать» большинство вредных веществ и активно противодействует патогенным организмам, содержащимся в воде. Это происходит путем выпадения осадков взвесей на объемной поверхности корней растения, само же растение может переработать разнообразные органические загрязнения – от горюче-смазочных материалов до навоза.

Эффективность растения для очистки сточной воды обусловлена рядом факторов, одним из которых является обогащение воды кислородом, который образовывается в результате биосинтеза, а вторым – расщепление вредных веществ на ряд химических элементов. В результате такой деятельности растение становится хорошим кормом, наполненным рядом полезных микроэлементов для птиц и животных, разводимых в сельском хозяйстве.

Еще одной особенностью растения является повышенный скоростной режим вегетативного размножения в зараженной, грязной воде. В сутки один экземпляр может дать до 1 000 отпрысков, таким образом заселяя собой весь водоем. При этом после того, как вода очистится полностью, растение перестает увеличивать популяцию.

Большая часть химических элементов находятся в растворенных в воде соединениях. При культивации в водоемах это растение проводит очистку водной среды. С помощью своих корней растение способно энергично извлекать из среды многие примеси и дезодорировать окружающую воздушную среду. Водный гиацинт в состоянии успешно бороться с множеством соединений, которые загрязняют наши водоемы. Это внешне нежное растение представляет собой очистные сооружения в миниатюре по переработке высоко- и низкомолекулярных продуктов. Интенсифицируются процессы нитрификации, минерализации нефтепродуктов, разрушаются и обезвреживаются многие токсины и соединения биогенов.

Растение может очищать воду от многих химических веществ, например, аммиак, фосфаты, железо, СПАВ, сульфиды, фенолы, а также от некоторых радионуклидов. Это растение усваивает примеси вод как питание, в основном через корневую систему. Метод применения возможностей растения эйхорния ориентирован, в том числе, на способности микроорганизмов, в изобилии развивающихся на корнях растения. Создание растением благоприятных условий существования полезного биоценоза в несколько раз усиливает деструктирование (расщепление, разложение) микроорганизмами растворенных органических и неокисленных минеральных соединений, например, сероводород, аммиак, нитриты, содержащиеся в сточных водах. Эйхорния использует их в процессе своей жизнедеятельности. Кроме того, простейшие стимулируют рост полезных бактерий и улучшают качество очищенного стока по показателям БПК, ХПК, содержанию взвешенных веществ. Происходит, за счет дезодорации прилегающих территорий, снижение угрозы загрязнения подземных и поверхностных вод и тем самым снижение риска экологических бедствий и улучшение экологической обстановки. Полное разрушение кишечных палочек, придает этому методу высокую эффективность с санитарной точки зрения. С применением способностей эйхорнии реально решение вопросов осветления и дезодорирования сточных вод, (исчезновение запахов и гибель многих болезнетворных бактерий).

Таким образом, без применения дополнительных химических дезинфицирующих средств можно вернуть воде полноценные качества (воды перед сбросом возможно не хлорировать). Как показывают результаты анализов воды по БПК₅, на водных поверхностях в зоне роста и далее в направлении движения воды, обеспечивается уничтожение и не допускается возможность образования на поверхности водоема сгустков загрязнений, гнилостных соединений. Исключается возможность развития болезнетворных бактерий, подавляется жизнеобеспечение личинок кровососущих насекомых. Токсичность воды определяется с помощью биотестирования, может быть снижена в зоне культивирования

растения вплоть до полного её отсутствия. Создается биологический барьер развитию патогенной микрофлоры стоков и проникновению в водоемы и подземные воды.

Эйхорния усваивает из воды не только навоз, фекалии, бензин и другие ГСМ, моющие вещества, различные яды. Она убивает вредные бактерии, кишасщие в водоемах, делая любую воду пригодной для купания и питья. Она обогащает воду кислородом, полученным в результате биосинтеза, а всю гадость расщепляет на составные элементы, становясь отличным кормом для скота и птицы.

Нужно помнить, что при резком увеличении объема сточных вод, может быть явное угнетение роста растений и ухудшение их внешнего вида, изменение химического и микробиологического состава сточных вод вследствие, как разовых залпов сбросов высокотоксичных отходов, так и стойком изменении химического состава.

Преимущества водного гиацинта в очистке сточных вод

В процессе исследований не выявлено никаких негативных особенностей применения эйхорнии для очистки стоков, кроме риска неконтролируемого размножения в экваториальном климате.

Растение имеет ряд преимуществ:

- Не обладает возможностью самоопыляться, что позволит остановить процесс роста в ограниченном водоеме тогда, когда это необходимо.
- В случае осушения водоема остатки растений не выделяют опасных токсинов.
- Улучшает качество загрязненной воды до её естественного состояния.
- Успешно борется с патогенными микроорганизмами в воде.
- Уровень затрат при применении растения стремится к минимальным величинам, особенно на фоне получаемого эффекта.
- Постройка очистных сооружений с расчетом на использование растения значительно дешевле организации традиционных водоочистных конструкций малого и среднего типа.
- Нет необходимости в обучении, содержании и переподготовке штата высококвалифицированных сотрудников.
- Избыточное количество эйхорнии может использоваться для кормления скота, птицы и рыбы.
- Биоматериал можно применять для генерации газа в биогенераторах с последующим использованием его для отопления либо выработки электроэнергии.
- Материал полностью экологически безопасен для человека, растительного и животного мира.

Экологическая безопасность и возможность переработки

Эйхорния в любом своем виде – растущем, цветущем, отжившем – является полностью безопасной для человека, растительного и животного мира, что подтверждено рядом научных исследований в процессе оценки её экс-

плуатации для очистки вод. Она не накапливает в себе вредные вещества в цельном виде, разбивая их на микроэлементы, не наносящие ущерба.

Эйхорния ошибочно считается растением с невероятным уровнем жизнеспособности, делающим невозможным её полное уничтожение в случае необходимости, поскольку даже в тропических широтах, где она наиболее эффективна в распространении, она до сих пор не нанесла какого-либо существенного ущерба природе.

Кроме того, эйхорнию можно использовать в качестве природного экскаватора – за сезон это растение в процессе роста и размножения популяции проводит переработку иловых отложений на дне водоемов, за счет чего уровень углубления за это время может достигать полуметра.

При этом она обладает большим количеством вариаций утилизации её как в растущем, так и в отжившем виде, от возможностей использования её в качестве кормов и удобрений, пищевых добавок для рыбы, птицы, скота (биомасса является источником витаминов А, В, С, Е а также микроэлементов в виде азота и калия) до применения биомассы в качестве источника энергии для биогенераторов и компоста.

Опыт применения

Нами предлагается стационарный и модульно-разборный комплексы постоянной и сезонной очистки стоков средней (до 5000 м³/сут.) и малой (до 480 м³/сут.) производительности, модульно-стационарный сборной конструкции (до 2200 м³/сутки), чеково-стационарный (до 24 000 м³/сутки) или по вашему Техническому заданию. Модули очистки с применением технологии Центра по сапропелю гораздо дешевле (в 3-6 раз) традиционных очистных сооружений и вполне конкурируют с ними при использовании в малых городах, поселках, сельской местности и на производствах малой и средней производительности. Не требуют высокой квалификации обслуживающего персонала, дорогостоящих химикатов. Эксплуатационные затраты по сравнению с существующими очистными сооружениями ниже в 3-4 раза. Материал - водный гиацинт (эйхорния) самовоспроизводится. Торфо-сапропелевый сорбент после использования является отменным удобряющим почвообразователем и закрепляющим пески материалом. Некоторые показатели эффективности очистки вод с использованием эйхорнии приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Эффективность очистки вод эйхорнией

Контролируемый показатель	До очистки эйхорнией	После очистки эйхорнией
ХПК, мгО ₂ /л	50,3	10,0
БПК, мгО ₂ /л	13,7	6,4
Хлориды, мг/л	37,9	14,5
Сульфаты, мг/л	98,0	42,1
Фосфаты, мг/л	1,4	0,3
Нитраты, мг/л	6,2	0,25

Заключение

Подведем итог, выделив основные преимущества технологии с использованием эйхорнии:

- Наличие стабильного эффекта по основной задаче – очистке воды.
- Минимальный уровень вложений для начала внедрения технологии.
- Возможность компенсировать часть вложенных средств за счет продукта переработки.
- Приведение состава очищенной воды в соответствие гигиеническим нормам;
- Очистка сточных вод с помощью эйхорнии – это рациональное использование природных ресурсов во благо человечества в будущем.

Список литературы

1. *Долженко Л.А., Соколова Г.Н., Носов С.В.* Пути улучшения геоэкологической обстановки региона // *Материалы IV Междунар. науч.-практ. студенческой конф.* – Ростов н/Д., 2008. – 94 с.
2. *Результаты* и обобщения наблюдений экспериментальных, опытных и опытно-промышленных применений 2000-2010 гг. в Москве по заказу ГУП Мосводосток. – ООО «Вектор Э»
3. *Наблюдения* и исследование использования водного плавающего растения эйхорния: Отчет о совместной работе ДМП «ЭКПО» г. Дзержинский Московской обл. и ООО «Вектор Э» в 2002 г.

Кузина Анастасия Александровна – студент ИУК7-71Б КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: anastasia111kuzina@yandex.ru

Иванова Виктория Сергеевна – студент ИУК7-71Б 71Б КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: v1k41vanova@yandex.ru

ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ ОТХОДОВ

Переработка медицинских отходов приобретает в настоящее время особую значимость во всем мире. Увеличивается номенклатура применяемых препаратов, объемы и степень опасности отходов, которые образуются в результате деятельности медицинских учреждений. В связи с этим возрастает опасность эпидемий.

Широко практикуется сжигание отходов, но неправильное сжигание или сжигание несоответствующих материалов приводит к выбросу в атмосферу загрязняющих веществ и образованию зольных остатков. Сжигаемые материалы, которые содержат хлор или обработанные хлором, могут образовывать диоксины и фураны, которые являются канцерогенами для организма человека и связаны с целым рядом неблагоприятных последствий для здоровья [1].

Из пяти классов отходов А, Б, В, Г, Д наиболее опасные отходы класса Б (опасные) и В (чрезвычайно опасные) необходимо обеззараживать.

Отходы класса Г токсичны, их утилизация является наиболее сложной и должна проводиться в строгом соответствии с правилами.

Отходы класса Д – это радиоактивные вещества, которые уничтожить невозможно, они также чрезвычайно опасны их обезвреживание осуществляется по методикам, используемым в атомной промышленности.

Плазменный метод утилизации набирает свою популярность, в связи с возможностью переработки отходов различных классов, при необходимости даже радиоактивных. Так же данный метод является одним из наиболее экологических, в связи с высокой температурой в зоне воздействия.

Для оценки выбранасхема,котораяотносится к способу переработки отходов перерабатывающих, коммунальных, промышленных и других производств, содержащих органику, а также медицинских отходов класса Б и В.

Технологическая схема плазмохимического способа переработки отходов представлена на рис. 1.

Способ переработки бытовых и промышленных отходов включает в себя их загрузку с предварительной сепарацией путем отделения стекла, бетона, керамики и металла; сушку с частичным пиролизом органики в шахтной печи; перемешивание перерабатываемой массы отходов с дальнейшим их пиролизом, который отличается тем, что достигается снижение температуры этого процесса до 500-850°C из-за воздействия восстановительных плазмохимических компонентов, получаемых путем парокислородной конверсии метана с увеличенным расходом пара, подаваемых противотоком перемещающимся отходам, а оборотный технологический газ, который отходит из шахтной печи, очищается в скрубберах и разделяется на топливный газ, подаваемый как в конвертор метана, так и в котел-утилизатор, при получении восстановительного газа, с частичным добавлением природного газа и кислорода, при этом отходящие газы из

котла-утилизатора очищаются в адсорбере путем контакта с мелкозернистой известью, также часть образующихся восстановительных газов расходуется в нижней части реактора во время мгновенного теплового удара, осуществляемого путем сжигания сажепылевых частиц, поступающих из циклона для горячего газа с осажденными на них диоксинами, фуранами и другими вредными компонентами, в атмосфере кислорода, причем образующиеся восстановительные газы могут направляться также в качестве синтез-газа в производство метанола, диметилэфира, моторного топлива и других продуктов [3].

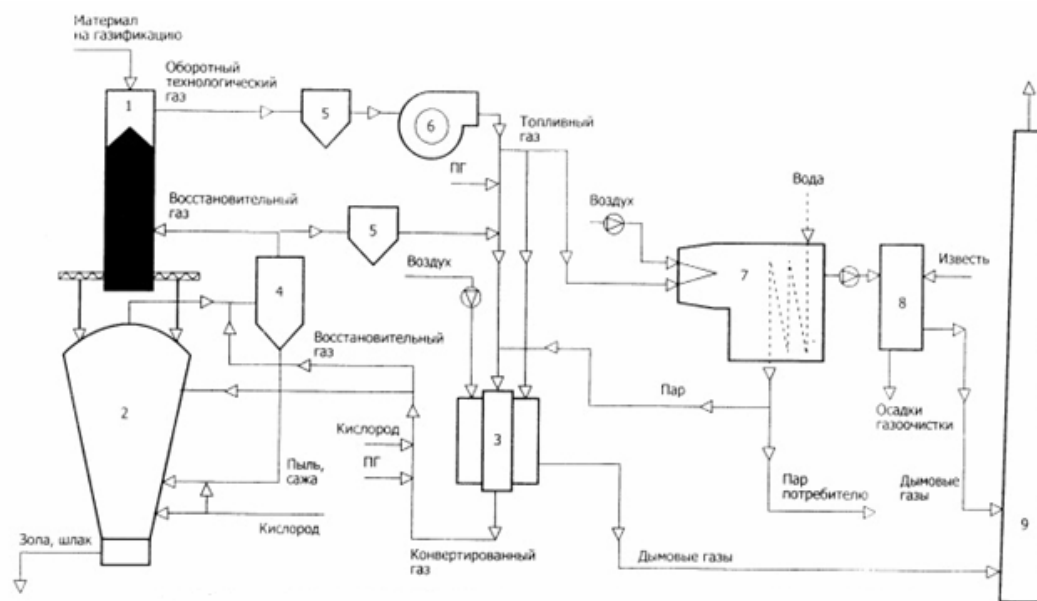


Рис. 1. Технологическая схема плазмохимического способа переработки отходов:

- 1 – шахта; 2 – реактор; 3 – конвертор; 4 – циклон для горячего газа;
 5 – скруббер; 6 – газодувка; 7 – котел-утилизатор;
 8 – адсорбер; 9 – выхлопная труба

Расчет экономических показателей технологии переработки медицинских отходов. Расчет показателей экономической эффективности проведен по методике [4].

Производительность завода по переработке отходов составляет 10 т/час.

В табл. 1 приведены затраты на оборудование и монтаж очистных сооружений.

Таблица 1.

Стоимость оборудования и затраты на его монтаж

Наименование оборудования	Стоимость, руб.	Затраты на монтаж, руб.	Общая цена, руб.
1	2	3	4
Шахта	55 000	5 500	60 500
Плазменный газификатор	5 200 000	520 000	5 720 000

Таблица 1. (окончание)

Наименование оборудования	Стоимость, руб.	Затраты на монтаж, руб.	Общая цена, руб.
1	2	3	4
Конвертор	60 000	6 000	66 000
Циклон	287 000	2 870	289 870
Скруббер	720 000	7 200	727 200
Газодувка	320 000	32 000	352 000
Котел-утилизатор	235 000	23 500	258 500
Адсорбер	285 000	28 500	313 500
Выхлопная труба	105 000	10 500	115 500
Итого:	7 267 000	636 070	7 903 070

По результатам расчетов составлена табл. 2.

Таблица 2.

Капитальные затраты

Элементы затрат	Условные обозначения	Расход, руб.
1. Цена объекта	Ц	8 535 315,6
2. Затраты на монтаж	З _{тр}	636 070
3. Стоимость производственного помещения	К _{пр.пом.}	4 500 000
Итого капитальные затраты:	К	13 671 385,6

Таким образом, единовременные капитальные затраты 13 671 385,6 рублей.

Все расчеты платы за выброс загрязняющих веществ в атмосферу занесены в табл. 3 и 4.

Таблица 3.

Плата за выброс загрязняющих веществ при сжигании отходов [5]

Вещества	Концентрация веществ, мг/л		Плата за выброс загрязняющих веществ, руб		Ставки платы, руб
	в пределах лимитов	сверх лимитов	в пределах лимитов	сверх лимитов	
1	2	3	4	5	6
Оксид азота	0,04	0,36	5,552	1249,200	138,8
Диоксид серы	0,05	0,85	2,270	964,750	45,4
Свинец	0,001	0,399	18,244	181 984,897	18 244,1
Кадмий	0,0003	0,5997	4,428	221 278,805	14759,3
Ртуть	0,0003	0,0697	5,473	31 790,3444	18 244,1

Таблица 3. (окончание)

1	2	3	4	5	6
Мышьяк	0,0003	0,0397	0,547	1809,923	1823,6
Хром	0,0015	0,1985	5,470	18 099,230	3647,2
Медь	0,001	0,079	5,473	10 810,162	5473,5
Никель	0,001	0,079	5,473	10 810,162	5473,5
ПХДД/Ф	$0,5 \cdot 10^{-10}$	$9,99 \cdot 10^{-6}$	0,67	3 349 983	$1,34 \cdot 10^{10}$
Итого:			53,60	3 828 780,73	-

Плата за выбросы загрязняющих веществ:

$$П_{НС} = 53,6 + 3\,828\,780,73 = 3\,828\,834,33 \text{ руб.}$$

Таблица 4.

Плата за выброс загрязняющих веществ при плазмохимическом методе утилизации отходов [5]

Вещества	Концентрация веществ, мг/л		Плата за выброс загрязняющих веществ, руб		Ставки платы, руб
	в пределах лимитов	сверх лимитов	в пределах лимитов	сверх лимитов	
Оксид азота	0,04	-	5,552	-	138,8
Диоксид серы	0,05	-	2,270	-	45,4
Свинец	0,001	-	18,244	-	18 244,1
Кадмий	0,0003	-	4,428	-	14 759,3
Ртуть	0,0003	-	5,473	-	18 244,1
Мышьяк	0,0003	-	0,547	-	1823,6
Хром	0,0015	-	5,470	-	3647,2
Медь	0,001	-	5,473	-	5473,5
Никель	0,001	-	5,473	-	5473,5
ПХДД/Ф	$0,5 \cdot 10^{-10}$	-	0,67	-	$1,34 \cdot 10^{10}$
Итого:			53,60	-	-

Предотвращенный экологический ущерб рассчитывается как разность плат за выбросы, выброшенных при сжигании отходов и при плазмохимическом методе утилизации отходов:

$$P_y = 3\,828\,834,33 - 53,60 = 3\,828\,780,73 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений:

$$T = 13\,671\,385,6 / 3\,828\,780,73 = 3,8 \text{ года.}$$

На основании проведенных расчетов срок окупаемости рассмотренной разработки составит 3,8 года.

Заключение. По современным данным в медицинских организациях общего профиля отходы класса Б и В в общем количестве отходов медицинской организации составляют не более 20%.

Медицинские отходы в основном (от 70%) состоят из отходов класса А. Отходы классов Г и Д составляют 5–10% в зависимости от профиля медицинской организации.

Технологическая схема рассматриваемого плазмохимического способа переработки отходов позволяет получать из отходов вторичный синтез-газ, с последующим использованием его для конверсии метана, получения горячей воды, пара и электроэнергии.

Снижение предотвращенного экологического ущерба составит 3 828 780,73 руб. Срок окупаемости капитальных вложений в предлагаемую установку составит 3,8 года.

Список литературы

[1] *Котова В.А.* Проблемы утилизации медицинских отходов / В.А. Котова, Е.С. Коробейникова // Вестник Башкирского государственного медицинского университета, 2014. – 6 с. [Электронный ресурс] URL: <https://e.lanbook.com/reader/journalArticle/213924/#1> (дата обращения: 25.09.2020)

[2] *Челноков А.А., Ющенко Л.Ф., Жмыхов И.Н., Юрацки К.К.* Обращение с отходами: учебное пособие – Минск: Вышэйшая школа, 2018. – 465 с. [Электронный ресурс] – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=560689&sr=1 (дата обращения: 26.09.2020)

[3] *Патент № 2478169* Емельянов С.Г., Звягинцев Г.Л., Кобелев Н.С. [Электронный ресурс] URL: <https://patentdb.ru/patent/2478169> (дата обращения: 22.09.2020)

[4] *Мамбетшаев С.В.* Методические указания по выполнению организационно-экономической части дипломного проекта специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов». – Калуга: КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 19 с.

[5] *Постановление* Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 (ред. от 24.01.2020) «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах»

Алмазов Евгений Вячеславович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга. E-mail: Szenek97@gmail.com

Морозенко Мария Ивановна – доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: morozenko_mi@mail.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ ПО СОДЕРЖАНИЮ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

В данной работе были проанализированы основные способы фильтрации воды (типы фильтров и способы очистки воды), проведен физико-химический анализ проб водопроводной и фильтрованной воды и по его результатам проведена оценка качества калужской водопроводной воды и сравнение эффективности очистки воды после фильтрации различными способами. Анализ пробы воды был проведен по пятнадцати показателям качества – содержанию неорганических веществ (железо, хлориды, сульфаты), обобщенным показателям (показатель рН, электропроводность, карбонатная, общая и постоянная жесткость; общая, свободная и карбонатная щелочность; окисляемость) и органолептическим показателям (запах, вкус, привкус). В предлагаемой статье приведены результаты анализа по неорганическим показателям качества фильтрации проб воды.

Теоретический анализ неорганических веществ и солей, содержащихся в воде

Железо – элемент восьмой группы четвертого периода периодической системы Д.И. Менделеева, который всегда имеется в любой воде в определенном количестве. Органические вещества, содержащиеся в воде, вступают в реакцию с железом и образуют сложный набор химических соединений. Таких как: оксид железа – это самое простое соединение, которое можно удалить простым методом отстаивания. Из-за присутствия оксида вода всегда имеет рыжий и мутный вид, с частицами ржавчины; коллоидное соединение (гидроксид железа) – это мелкодисперсное образование, которое никогда не дает осадок. Обогащенная таким железом вода применяется для лечебных целей, однако пить без назначения врача её нельзя. Коллоидное железо всегда есть в мутной воде, которая поступает из-под крана и не оседает; «биологическое» железо – это результат жизненного цикла бактерий (чаще всего это трехвалентные соединения железа). Выглядят такие железобактерии как вязкая и мягкая слизь, а на поверхности воды они образуют масляную пленку. Железобактерии становятся источником появления слизи на трубопроводе и причиной его коррозии; двухвалентные ионы железа. Чаще всего при взаимодействии с кислородом образуют оксид железа. Его наличие видно по внезапному помутнению набранной из-под крана воды. Соединения кислорода и железа имеют канцерогенные свойства. Они являются причиной изменения ДНК клеток и перерождения их в злокачественные.

В природных водах железо может находиться в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии, может входить в состав минеральных и органических соединений. В подземных водах преобладают соединения двухвалентного железа $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, FeSO_4 , образующиеся при растворении железосодержащих пород. Эта форма содержания железа устойчива в

присутствии растворенного CO_2 и в отсутствии кислорода. При выходе подземных вод на поверхность наблюдается окисление Fe^{2+} в Fe^{3+} , сопровождающееся образованием трудно растворимого $\text{Fe}(\text{OH})_3$:



Гидроксид железа (III) может содержаться в поверхностных водах в виде коллоидного раствора, но под влиянием растворенных электролитов он коагулирует. Поэтому содержание железа в поверхностных водах незначительно (сотые или десятые доли мг/л). Воды северных районов (болотистые) содержат органическую форму железа – гуматы, обуславливающие их цветность. Содержание железа в питьевой воде не должно превышать 0,3 мг/л, т.к. при большей концентрации появляется неприятный (железистый) привкус и бурый оттенок. Нежелательно железо во многих производственных водах. Так, при содержании железа в охлаждающей воде наблюдается массовое развитие железобактерий, вызывающих обрастание и закупорку труб. Вода, используемая для питания паровых котлов, не должна содержать железа более 100 мкг/л. Концентрация железа выше 1 мг/л губительны для рыб.

Сульфаты – это вещества, являющиеся сернокислыми солями серной кислоты (H_2SO_4). Они обладают светлой окраской, незначительной твердостью и большинство из них хорошо растворимы в воде. В природной воде эти вещества находятся в виде солей натрия (Na), калия (K), кальция (Ca) и магния (Mg) – одних из солей постоянной жесткости, а также еще многих других металлов. Сульфаты хоть и не так токсичны для человека, но превышение их дозы приводит к ухудшению органолептических свойств воды (появляется солоноватый привкус). Сульфаты (соли серной кислоты) встречаются в воде в форме солей щелочноземельных и щелочных металлов. В некоторых случаях сульфаты появляются в воде в результате окисления разложившихся белковых веществ животного происхождения. Однако сульфаты могут быть и минерального происхождения и в больших количествах содержаться в незагрязненной воде. Источниками таких сульфатов являются различные осадочные породы, в состав которых входит гипс. При централизованном и нецентрализованном водоснабжении содержание сульфатов в воде до 500 мг/л.

Хлориды – это вещества, являющиеся солями соляной кислоты (HCl). В воде они находятся в виде бесцветных растворенных веществ, например, солей натрия, калия, а также одних из солей жесткости (хлориды магния и кальция). Высокая растворимость хлоридов объясняет широкое их распространение во всех природных водах. Хлориды в воде могут быть минерального и органического происхождения и встречаться в форме солей – NaCl , KCl , MgCl_2 , CaCl_2 . В южных регионах повышенное содержание хлоридов в воде обычно связано с засоленностью грунтов, богатых хлористыми соединениями. Такая вода не представляет опасности в санитарном отношении. Хлориды органиче-

ского происхождения образуются при разложении органических веществ, преимущественно мочи, фекалий и др.

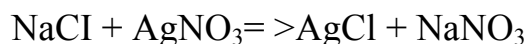
При централизованном и нецентрализованном водоснабжении содержание хлоридов в воде до 350 мг/л. В проточных водоемах концентрация хлоридов обычно невелика (20-30 мг/л). Незагрязненные грунтовые воды в местах с не солончаковой почвой обычно содержат до 30-50 мг/л хлор-иона. В водах, фильтрующихся через солончаковую почву, в 1 л могут быть сотни и даже тысячи миллиграммов хлоридов. Вода, содержащая хлориды в концентрации более 350 мг/л, имеет солоноватый привкус. При концентрации хлоридов 500-1000 мг/л вода неблагоприятно влияет на желудочную секрецию. Содержание хлоридов является показателем загрязнения подземных и поверхностных водоисточников и сточных вод.

Экспериментальная часть

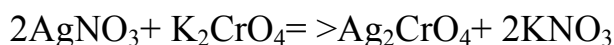
Для проведения анализа были взяты следующие пробы воды: 1 проба – водопроводная вода из-под крана; 2 проба – вода, прошедшая через фильтры обратного осмоса; 3 проба – вода, прошедшая через проточные фильтры; 4 проба – вода, прошедшая через фильтр-кувшин.

В качестве примера методологии эксперимента приведем основы метода определения содержания хлоридов в пробах воды **методом Мора**.

Метод Мора основан на осаждении хлоридов азотнокислым серебром в присутствии хромата калия K_2CrO_4 . При наличии в растворе хлоридов $AgNO_3$ связывается с ними, а затем образует хромат серебра оранжево-красного цвета.



Методика определения: титрование



Оборудование: конические колбы на 200 мл; пипетки на 10 мл; цилиндры мерные на 100 мл; бюретки для титрования; дистиллированная вода; 0,01 н раствор $AgNO_3$; 0,01 н раствор $NaCl$; 5%-ный раствор K_2CrO_4 .

Порядок выполнения работы:

• При содержании хлоридов менее 250 мг/л взять 100 мл фильтрованной испытуемой воды. При большем содержании хлоридов - 10-50 мг/л. Испытуемую воду налить в две конические колбы, довести до 100 мл дистиллированной водой, прибавить 5 капель раствора K_2CrO_4 . Раствор в одной колбе титровать $AgNO_3$, а вторая колба используется для контроля.

• Содержание хлор-иона в воде рассчитать по формуле

$$X = (P \cdot K \cdot 0,355 \cdot 1000) / V$$

где X – содержание хлор-иона в мг/л;
P – количество раствора $AgNO_3$, истраченное на титрование, мл;
K – поправочный коэффициент к титру;

0,355 – эквивалентное количество хлора, соответствующее 1 мл 0,01 н раствору AgNO₃, мг;

V – объем исследуемой пробы, мл.

Таблица 1.

Количество раствора AgNO₃ (П), истраченное на титрование

Кол-во р-ра (мл)	1	2	3	4
П ₁ (мл)	11	2	10,6	10,5
П ₂ (мл)	11	2	10,6	10,5
П ₃ (мл)	11	2	10,7	10,5
П общее (мл)	11	2	10,63	10,5

Поправочный коэффициент (K) = 1

Объем исследуемой воды (V) = 100 мл

Таблица 2.

Экспериментальное содержание хлоридов в пробах воды

Номер пробы	1	2	3	4
Хлориды (мг/л)	39,05	7,1	37,275	37,275

Таблица 3.

Обобщенные результаты проведенного физико-химического анализа проб воды по параметрам неорганических соединений

Неорганические вещества	Единицы измерения	Образцы воды				Нормативы (ПДК), не более
		1	2	3	4	
Железо	мг/л	0,1	0,05	0,1	0,05	0,3
Сульфаты	мг/л	100-150	0	100-150	100-150	500
Хлориды	мг/л	39,05	7,1	37,275	37,275	350

Таблица 4.

Сравнение уменьшений концентраций неорганических веществ в воде после фильтрации

Неорганические вещества	Железо	Сульфаты	Хлориды
Обратный осмос	0,1→0,05 (уменьшение на 50%)	100-150→0 (уменьшение на 100%)	39,05→7,1 (уменьшение на 81,8%)
Проточный фильтр	0,1→0,1 Не изменилась	100-150→100-150 Не изменились	39,05→37,275 (уменьшение на 4,54%)
Фильтр-кувшин	0,1→0,05 (уменьшение на 50%)	100-150→100-150 Не изменились	39,05→37,275 (уменьшение на 4,54%)

Вывод: содержание железа, сульфатов и хлоридов в исследуемых пробах воды после фильтрации не превышает нормы СанПиН. Наиболее эффективна очистка воды наблюдается после обратного осмоса.

Список литературы

[1] *Васильев В.П.* Аналитическая химия В 2 кн. Кн.2 Физико-химические методы анализа: учеб. для студ. вузов, обучающихся по химико-технол. спец./В.П. Васильев. – 5-е изд., стереотип. – М.:Дрофа, 2015 – 383с.

[2] *Питьевая вода.* Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. САНПиН 2.1.4.559 – М.: Госкомэпиднадзор России, 1996.

Гордеев Алексей Сергеевич – старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: tungsten-ali@mail.ru

Крицкая Анна Рудольфовна – доцент кафедры «Высшая математика и физика», канд. пед. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: anna_kritskaya69@list.ru

Крицкая Алина Владиславовна – студент КГУ им К. Э. Циолковского. E-mail: alinakrits730.com@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ СВЧ ТЕХНОЛОГИЙ

СВЧ-излучение – это электромагнитное излучение, которое состоит из следующих диапазонов: дециметрового, сантиметрового и миллиметрового. Длина его волны колеблется от 1 м (частота в этом случае составляет 300 МГц) до 1 мм (частота равна 300 ГГц). Широкое практическое применение СВЧ-излучение получило при реализации способа бесконтактного нагрева тел и предметов.

В научном мире данное открытие интенсивно используется в исследовании космического пространства. Привычное и наиболее известное его применение – в домашних микроволновых печах. В тяжелой промышленности оно используется для термообработки металлов. Также на сегодняшний день СВЧ-излучение получило распространение в радиолокации. Антенны, приемники и передатчики на самом деле – дорогостоящие объекты, но они успешно окупаются из-за огромной информационной емкости СВЧ-каналов связи. Популярность его использования в быту и в производстве объясняется тем фактом, что данный тип излучения является всепроникающим, следовательно, нагрев объекта идет изнутри. Шкала электромагнитных частот, вернее, её начало и конец, представляет собой две различные формы излучения: ионизирующее (частота волны больше, чем частота видимого света); неионизирующее (частота излучения меньше частоты видимого света). Для человека представляет опасность сверхвысокочастотное неионизированное излучение, которое влияет напрямую на человеческие биотоки с частотой от 1 до 35 Гц. Как правило, неионизированное СВЧ-излучение провоцирует беспричинную усталость, аритмию сердца, тошноту, снижение общего тонуса организма и сильную головную боль. Такие симптомы должны быть сигналом, что близко находится вредный источник излучения, который может нанести существенный ущерб здоровью. Тем не менее, как только человек покидает опасную зону, недомогание прекращается, и эти неприятные признаки исчезают сами по себе.

В производственном процессе важной частью является технологический процесс. Это связано с тем, что сырьё перерабатывается, и из него получается готовый продукт. Технологический процесс разбивается на стадии и этапы, каждый из которых играет важнейшую роль в общей скорости процесса. Инновации и развитие в этой области приводят к тому, что улучшаются показатели экономичности и эффективности использования энергии. Показатели в области экономики сильно зависят от уровня технологии производства. Именно по этой причине на основе показателей производительности, себестоимости и качества продукции разрабатывается оптимальный технологический процесс. Технология СВЧ показывает лучшие результаты с этой точки зрения. В данной статье рассмотрим самые нетрадиционные способы применения СВЧ.

В 21 веке технологии не стоят на месте, мы предлагаем использовать свч технологии в военной промышленности. Например, создание так называемой «СВЧ-пушки». Данную систему можно использовать для обезвреживания вражеских беспилотников и самонаводящихся ракет.

Применение СВЧ технологии в промышленности

В современном мире часто встречаются такие технологии производства и обработки материалов, которые уже много лет не модернизировались и в следствие чего, являются низкоэффективными и неэкологичными. Такая ситуация получается из-за того, что не хватает научных достижений. Используемые в наше время методы производства, кроме того, что наносят колоссальный урон природе, вредят и людям, которые работают на этих предприятиях или находятся вблизи. Но благодаря тому, что с каждым годом требования к технологиям производств становятся всё более жёсткими, наука вынуждена разрабатывать современные способы производства материалов или модернизировать старые.

В современном мире процесс сушки различного рода материалов является одним из самых неэффективных этапов в цикле производства. В промышленности имеют место быть циклы производства, ккоторых на определённом этапе требуется вывести часть влаги из строительных материалов, исходного сырья, материалов разной твёрдости и сыпучести, бывает необходимо удалить растворитель с покрашенной детали, продукта или пасты, полуфабриката и т.п. Этот этап в производстве нужен для того, чтобы улучшить качество материала, например, повысить удельную теплоту сгорания каменного угля, или для того, чтобы ускорить некоторые процессы, такие как сушка древесины, ведь она необходима не только для уменьшения удельной массы материала, но и для ускорения строительства, увеличения срока эксплуатации.

В отличие от традиционных методов сушки и обеззараживания сырья растительного и животного происхождения, которые энергозатратны и не позволяют получать конечную продукцию высокого качества, СВЧ-технологии обработки являются экономически эффективными и позволяющими получить конечный продукт с сохранением его полезных свойств и качества.

СВЧ-метод характеризуется объемностью нагрева материала целиком во всем объеме обрабатываемого продукта и отсутствием передачи тепла от источника к объекту обработки. Одновременно с обезвоживанием (сушкой) достигается обеззараживание (пастеризация, стерилизация). Более низкие температуры обработки позволяют сохранить термолабильные компоненты, такие как витамины, эфирные масла, пектины и другие биологически полезные компоненты в обработанных пищевых продуктах и получить конечный продукт высокого качества.

Области применения СВЧ-установки:

- Сушка панировочных сухарей
- Сушка ячменя в производстве солода для пивной промышленности
- Сублимационная сушка

- Заключительный процесс сушки хрустящего картофеля
- Быстрый роспуск закристаллизовавшегося меда (без потери качества)
- Кондиционирование муки, круп и других сухих пищевых продуктов (воздействие на мучного жучка и других вредителей)
- Консервирование пищевых продуктов
- Сушка лекарственных растений
- Размораживание любых замороженных продуктов
- Вспучивание пенокерамических строительных материалов
- Обработка специй

Заключение

В современном мире технология СВЧ используется во многих областях промышленности: при сушке материалов, при дезинфекции медицинских отходов, при получении инновационных строительных материалов и т.п. Часто используются СВЧ устройства конвейерного и периодического типа. Явные преимущества использования технологии СВЧ в производстве: равномерное нагревание по всему объёму, экономическая эффективность, энергоэффективность и экологичность. Имеется также и ряд недостатков этой технологии: зависимость экономических показателей от цен на электроэнергию, не все материалы целесообразно нагревать в СВЧ установках из-за различной радиопрозрачности. В производстве плитки из резиновой крошки нагревание её с помощью технологии СВЧ возможно. Как показало исследование, применение данной технологии при нагревании резиновой крошки целесообразно. Нагревание образца происходит «изнутри», то есть тепловая карта материала равномерна. Кроме того, данная технология отличается энергоэффективностью по сравнению с традиционной технологией нагрева резиновой крошки. Это позволит снизить себестоимость конечной продукции.

Список литературы

- [1]. *Окресс Э.* СВЧ-энергетика. – М.: Мир, 1971.
- [2]. *Ф.Шилл.* Пеностекло (производство и применение) – М.: Стройиздат, 1965. – 308 с.
- [3]. *Сапунов Г.С.* Ремонт микроволновых печей. – Солон, М. – 1998 г.

Шинко Юрий Сергеевич – студент ИУК7-71Б КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: yur.shinko@yandex.ru

Ишманов Владислав Сергеевич – студент ИУК7-71Б КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vlad727723@yandex.ru

ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ГОРОДОВ

Под воздействием техногенных факторов происходит интенсивное локальное изменение гидрохимического состояния подземных вод, что выражается в их загрязнении. В наибольшей степени подвержены загрязнению грунтовые воды и подземные воды первых от поверхности напорных горизонтов, составляющих зону активного водообмена.

Загрязнению подвержены подземные воды в отложениях разного возраста. Более 70 % участков загрязнения выявлены в первых от поверхности водоносных горизонтах, приуроченных к отложениям четвертичного, неоген-четвертичного, мел-четвертичного, палеогенового возрастов, не являющихся, как правило, источниками питьевого водоснабжения населения. В отдельных случаях отмечено загрязнение как грунтового, так и нижезалегающего напорного водоносного горизонта. Для 30 % участков наблюдается загрязнение подземных вод слабонапорных или напорных водоносных горизонтов в меловых, каменноугольных или девонских отложениях, залегающих под породами четвертичными возраста.

Характеристика участков загрязнения подземных вод

Загрязнение подземных вод, вызванное различными источниками, неодинаково по интенсивности и масштабам. В наибольшей степени подвержены загрязнению незащищённые грунтовые воды, где интенсивность и характер загрязнения подземных вод определяется наличием техногенных объектов различных отраслей промышленности. Промышленное загрязнение подземных вод носит, в основном, локальное распространение в пределах площади техногенных источников. Наиболее широко распространёнными загрязняющими веществами в подземных водах в результате техногенного воздействия являются соединения азота и нефтепродукты.

Загрязнение подземных вод соединениями азота связано, в основном, с сельскохозяйственными объектами и обусловлено фильтрацией поверхностных вод и атмосферных осадков из накопителей отходов и полей фильтрации, с сельскохозяйственных массивов, обрабатываемых ядохимикатами и удобрениями, животноводческих комплексов и птицефабрик, мест хранения ядохимикатов и удобрений. В результате многолетней интенсивной сельскохозяйственной деятельности загрязнение подземных вод приняло региональный характер для ряда областей Российской Федерации.

Потенциальными источниками загрязнения подземных вод нефтепродуктами служат многочисленные действующие и ликвидированные склады горюче-смазочных материалов, АЗС, нефтепроводы, крупные авиапредприятия, нефтеперерабатывающие заводы, локомотивные депо и др. Кроме того, образованию новых участков загрязнения подземных вод способствуют несанкционированные сбросы нефти и нефтепродуктов в заброшенные карьеры и долины ручьёв и мелких притоков.

На территории России постоянное или эпизодическое загрязнение подземных вод выявлено на 2482 участках и на 3423 водозаборах питьевого и хозяйственно-бытового назначения, преимущественно представляющих собой одиночные эксплуатационные скважины с производительностью менее 1,0 тыс. м³/сут.

В подземных водах при промышленном типе загрязнения обнаруживается практически весь перечень выявленных загрязняющих веществ, как неорганических, так и органических. При сельскохозяйственном типе загрязнения наблюдаются преимущественно соединения азота, пестициды; при коммунальном типе загрязнения – соединения азота, железо, марганец, хлориды, фенолы; при загрязнении некондиционными природными водами – хлориды, сульфаты, железо, марганец, фтор, стронций.

На участках загрязнения подземных вод, вызванных промышленными объектами, преобладают содержания загрязняющих веществ в диапазоне 10–100 ПДК, максимальные значения достигают 1000 ПДК более. При других типах загрязнения преобладают содержания до 10 ПДК, максимальные значения достигают 100 ПДК и более.

Загрязняющие вещества в подземных водах

Основными загрязняющими веществами в подземных водах в результате техногенного воздействия являются соединения азота (нитраты, нитриты, аммиак и аммоний), нефтепродукты, сульфаты и хлориды, тяжёлые металлы (медь, цинк, свинец, кадмий, кобальт, никель, ртуть) и фенолы.

Наибольшая опасность наблюдается на участках загрязнения подземных вод компонентами 1-ого класса опасности, которые отмечены в районах отдельных крупных промышленных предприятий городов и поселков. Основными загрязняющими веществами 1 класса опасности являются мышьяк и бензол, в меньшей степени – бериллий и 1,2-Дихлорэтан. По единичным пробам фиксировались винилхлорид, ртуть и четыреххлористый углерод.

Подземные воды г. Калуги

Город Калуга отличается наличием высокоразвитой промышленной индустрии. Прежде всего это предприятия ВПК, машиностроительные, приборостроительные, химические и т. д. Всего на территории города находится более 10 тыс. предприятий и организаций, которые являются источниками загрязнения поверхностных и подземных вод.

Промышленность является одним из главных источников загрязнения гидросферы через атмосферные выбросы и сбросы условно очищенных вод в речную сеть. В отходах производственных объединений (ПО «Гигант», ПО «КАДВИ», ПО «Тайфун», КРЛЗ, «Аромсинтез», «Калужский турбинный завод», «Калугапутьмаш», КЗАМЭ и др.) содержатся: чрезвычайно опасные (I класс опасности) хлорорганические соединения, пентисернистый фосфор, цианиды, окислы меди, хрома, кадмия, ртуть и др. тяжелые металлы; высокоопасные окислы хрома, никеля, мышьяка, окислы титана, соединения свинца, хрома, цинка, растворители, фенол смолы (II класса); умеренно-

опасные химические вещества присутствуют в отходах практически всех предприятий (III класс опасности).

Мест централизованного хранения или захоронения указанных отходов до настоящего времени нет. Общий суммарный объем не утилизированных токсических отходов (органических и неорганических), образовавшихся на предприятиях г. Калуги, составляет более 18 тыс. тонн. Планируемое строительство предприятия по переработке отходов должно улучшить экологическую обстановку в городе.

Результатами многолетних инженерно-геологических изысканий в пределах г. Калуги установлено, что грунтовые и подземные воды характеризуются пространственно-временной неоднородностью и изменчивостью содержания в них сульфатных, хлористых и железистых соединений. Пределы колебания в воде железистых соединений равны мг/л, сульфатных и карбонатных – от долей до нескольких сотен мг/л. На многих участках отмечено превышение ПДК по марганцу и железу в 50 и 40 раз соответственно, по кадмию – в 5 раз, по сере – в 75 раз, по биогенному элементу фосфора – в 7 раз.

Наиболее распространенными загрязняющими компонентами в подземных водах города являются SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , H_2S и сульфиды, кремниевая кислота, натрий, кальций, магний, железо, марганец, тяжелые металлы, мышьяк, ПАВ, СПАВ, нефтепродукты, фенолы, амины. Бактериологическое загрязнение обычно вызывается бактериями группы кишечной палочки.

Загрязняющие вещества промышленных предприятий города поступают в водоносные горизонты в виде таких комплексных соединений: до 96% аммонийного азота, 3-30% натрия, 7-45% кальция, 7-56% магния, 99% трехвалентного железа, 30-40% двухвалентного железа, 10-80% марганца, 45-99% свинца, 40-99% меди, 30-99% цинка, 50-99% ртути, 15-50% сульфатной серы, 2-60% фтора, 50-99% ртути, 15-50% сульфатной серы, 2-60% фтора, 50-99% фенолов.

Особую опасность для загрязнения поверхностных и подземных вод представляют фильтраты биохимического разложения не санкционированных свалок твердых бытовых отходов. Вокруг данных свалок формируются зоны чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия. Указанная особенность состава подземных вод представляет угрозу здоровью населения. Они не могут быть использованы для целей водоснабжения. Поверхностные и подземные воды в районах старых полигонов образуют единую гидравлически связанную систему с фильтратами твердых бытовых отходов. Многочисленные загрязненные водоемы питают первые от поверхности водоносные горизонты. Эти горизонты являются источником водоснабжения не только населения г. Калуги, но многих других городов России. В зоне влияния полигонов (в радиусе около 15 км), загрязненные фильтратами полигонов грунтовые воды попадают в нижележащие горизонты подземных вод, не имеющих надежных водоупорных покрытий из глинистых высокодисперс-

ных грунтов. Нисходящий характер фильтрации подтверждается анализом гидродинамической обстановки в районах полигонов. Загрязнения поверхностных вод в районах, где полигоны располагаются вблизи рек, распространяется на многие десятки и сотни километров.

С целью повышения качества подземных вод, необходимо ликвидировать выпуски сточных вод спецочистки путем организации замкнутого цикла водообмена; ряд промышленных предприятий перепрофилировать, а животноводческие фермы вывести из зоны незащищенных подземных вод; ликвидировать выпуски неочищенных стоков в пруды-отстойники; подготовить дополнительную сеть режимных наблюдательных скважин и новый регламент опробования с целью контроля дальнейшего распространения выявленных очагов загрязнения подземных вод тритием, стронцием-90, железом, фтором, стронцием общим, барием и другими элементами.

Список литературы

[1]. *Ветошкин А.Г.* Инженерная защита гидросферы от сбросов сточных вод [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Г. Ветошкин. – 2-е изд. испр. и доп. – М.-Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. – 296 с.: ил.табл., схем – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444179>

[2]. *Димакова Н.А., Шаранов Р.В.* Проблема загрязнения подземных вод // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 2. – С. 79-82

[3]. *Ларионов Н.М.* Промышленная экология: учебник для вузов/Н.М. Ларионов, А.С. Рябышенков. – М.: Изд-во «Юрайт», 2014. – 495с.

Диденко Максим Алексеевич – студент ИУК7-71Б КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: maxdidenko99@yandex.ru

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

1. Что такое фотокатализ

Фотокатализ – это превращение химических реакций под действием света в присутствии веществ – фотокатализаторов, которые в результате поглощения ими квантов света способны вызывать химические превращения участников реакции, вступая с последними в промежуточные химические взаимодействия и регенерируя свой химический состав после каждого цикла таких взаимодействий.

2. Для чего применяется фотокаталитическая очистка атмосферного воздуха

Фотокатализаторы применяются для очистки атмосферного воздуха от:

- Выхлопных газов
- Угарного газа (СО), окислов азота (NO_x), фенола, формальдегида, озона
- Табачного дыма и запаха
- Пыли и копоти
- Аллергенов домашнего, растительного и животного происхождения
- Аммиака, сероводорода
- Вредных и неприятных запахов (пищевых и т.п.)
- Блезнетворных бактерий и вирусов (грипп, туберкулёз, плесень...)
- Токсичных органических соединений бытового и промышленного происхождения таких, как хлоро- и кислородсодержащие углеводороды, эфиры, альдегиды и кетоны ароматические и гетероциклические канцерогены.

3. Принцип действия TiO₂ фотокатализатора

Согласно современным представлениям, в таких соединениях электроны могут находиться в двух состояниях: свободном и связанном. В первом состоянии электроны движутся по кристаллической решетке, образованной катионами Ti⁴⁺ и анионами кислорода O²⁻. Во втором состоянии – основном электроны связаны с каким-либо ионом кристаллической решетки и участвуют в образовании химической связи. Для перевода электрона из связанного состояния в свободное необходимо затратить энергию не менее 3,2 эВ. Эта энергия может быть доставлена квантами света с длиной волны $\lambda < 390$ нм. Так при поглощении света в объеме частицы TiO₂ рождаются свободный электрон и электронная вакансия (в физике полупроводников такая электронная вакансия называется дыркой). Электрон и дырка – достаточно подвижные образования, и, двигаясь в частице полупроводника, часть из них рекомбинирует, а часть выходит на поверхность и захватывается ею. Схематически процессы, происходящие на частице TiO₂, изображены на рис. 1.

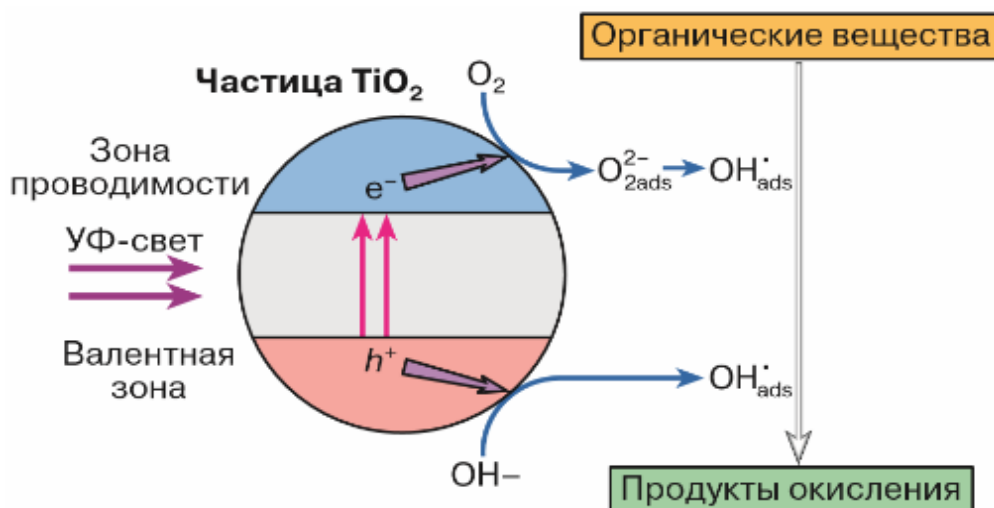


Рис. 1. Схематическое изображение процессов, идущих на полупроводниковой частице

4. Практическое использование фотокатализатора

Эффективность фотокатализатора определяется квантовым выходом реакции и спектром действия фотокатализатора. Квантовый выход фотореакции есть отношение числа образующихся молекул продукта к числу поглощенных квантов света. Для полупроводниковых частиц как фотокатализаторов обычно рассматривают несколько стадий процесса: а) поглощение света – рождение электрон-дырочных пар, б) диффузия электронов и дырок к поверхности полупроводника, в) объемная рекомбинация электронов и дырок, г) поверхностная рекомбинация электронов и дырок, д) полезные реакции электронов и дырок с адсорбированными молекулами.

На поверхности фотокатализатора TiO_2 могут быть окислены (минерализованы) до CO_2 и H_2O практически любые органические соединения. Если в состав соединений входят азот или атомы галогена X , то в продуктах реакции будут наблюдаться HNO_3 и H_X . Единственным известным примером соединения, которое не подвергается на поверхности TiO_2 окислению под действием света, является тетрахлорметан, но уже трихлорэтилен разрушается на TiO_2 под действием света с квантовым выходом, превышающим единицу. Это связано с тем, что на поверхности TiO_2 может образовываться атомарный Cl , который, десорбируясь с поверхности, стимулирует цепной процесс разложения исходного трихлорэтилена. На практике любой фотокаталитический очиститель воздуха включает в себя пористый носитель с нанесенным TiO_2 , который облучается светом и через который продувается воздух. Так, на рис. 2 показано устройство бытового фотокаталитического очистителя воздуха, разработанного Информационно-технологическим институтом (Москва) и Институтом катализа Сибирского отделения РАН. Органические молекулы из потока адсорбируются на поверхности фотокатализатора, нанесенного на пористое стекло (фотокаталитический фильтр), и окисляются до углекислого газа и воды под действием света от УФ-лампы. Эффективность действия такого устройства демонстрируется следующим опытом. Очисти-

тель помещают в замкнутый объем (около 190 л), туда же добавляют ацетон. Наблюдение ведут по убыли ацетона и накоплению CO_2 .

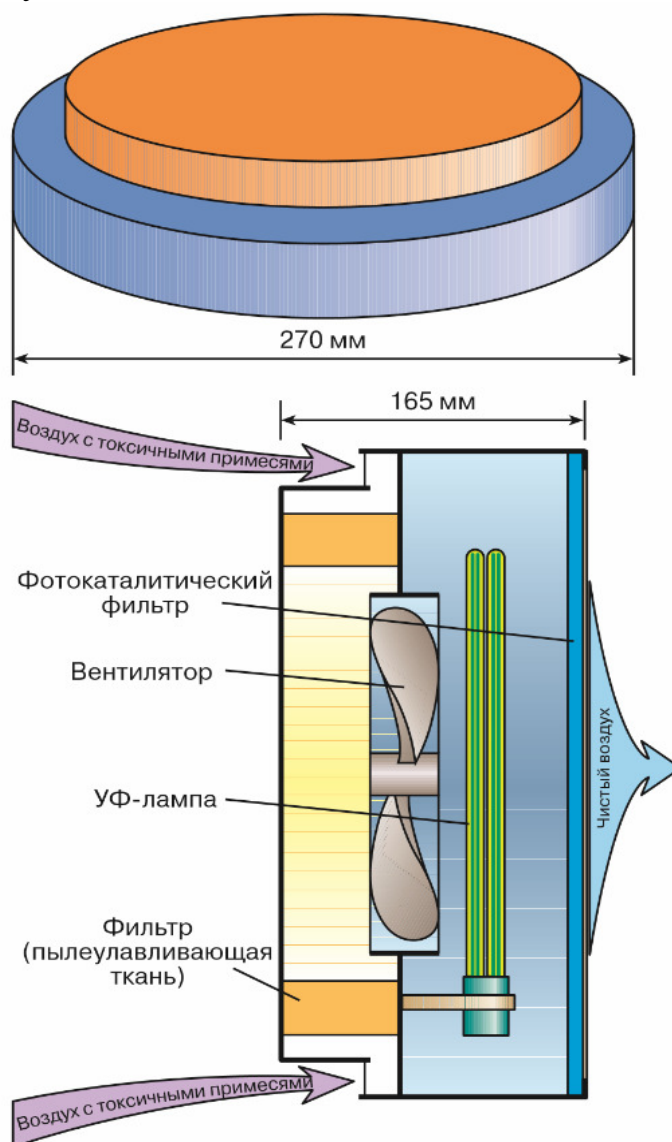


Рис. 2. Фотокаталитический очиститель воздуха

5. Достоинства и недостатки метода

Недостатками фотокаталитических методов очистки газов являются: сравнительно невысокая скорость очистки по сравнению с другими методами (адсорбция, сжигание) и быстрое падение активности фотокатализаторов при разложении ароматических и гетероатомных органических соединений.

Главным достоинством ФКО является полное уничтожение органических загрязнений с превращением их в экологически безопасные вещества (H_2O и CO_2), в то время как наиболее распространенные адсорбционные очистители лишь накапливают токсичные компоненты и требуют периодической замены и утилизации адсорбента. Кроме того, очистители других типов плохо справляются с примесями, имеющими небольшую молекулярную массу (например, с окисью углерода, в значительных количествах присутствующей в табачном дыму), фотокаталитические же устройства окисляют их наиболее активно.

Мнения экспертов:

«Главной отличительной чертой ФКО является полное уничтожение органических загрязнений с превращением их в экологически безопасные вещества (H_2O и CO_2), в то время как наиболее распространенные адсорбционные очистители лишь накапливают токсичные компоненты и требуют периодической замены и утилизации адсорбента. Кроме того, очистители других типов плохо справляются с примесями, имеющими небольшую молекулярную массу (например, с окисью углерода, в значительных количествах присутствующей в табачном дыму), фотокаталитические же устройства окисляют их наиболее активно.»

*Зам. директора Института проблем химической физики РАН,
профессор В. Н. Троицкий*

Вывод

Таким образом, в процессе написания научно-исследовательской работы мы сделали вывод, что удаление из воздуха различных загрязняющих веществ посредством фотокатализа является важным процессом очистки воздуха, как в хозяйственной деятельности, так и в промышленности.

Примером применения в хозяйственной деятельности является использование его как профилактики для борьбы с инфекциями и аллергиями. Отзывы подтверждают необходимость устройств в жилых помещениях, поскольку там обычно сухой воздух.

Применение в промышленности началось с уничтожения следов нитроглицерина в цехах по производству взрывчатых веществ, штат Флорида, США. В России этот метод впервые реализован в серии приборов АЭРОЛАЙФ.

Изучив различные источники информации об очистке воздуха, мы пришли к общему мнению о том, что фотокаталитический фильтр является эффективным устройством очистки воздуха от загрязняющих веществ. Его главным достоинством перед другими очистителями является способность полного уничтожения органических загрязнений с превращением их в экологически безопасные вещества (H_2O и CO_2).

Список литературы

[1]. *Катализатор* и способ его получения / Н.Н. Вершинин, О.Н. Ефимов / Патент РФ на изобретение № 2348090 от 27.02.2009 г.

[2]. *Нанокатализатор* и способ его получения / Н.Н. Вершинин, О.Н. Ефимов, В.А. Бакаев, И.И. Коробов / Патент РФ на изобретение № 2411994 от 20.02.2011 г.

[3]. *Катализатор* для окисления монооксида углерода и способ его получения / Н.Н. Вершинин, О.Н. Ефимов, В.А. Бакаев // Патент РФ на изобретение № 2411993 от 20.02.2011 г.

[4]. *Окисление* монооксида углерода на каталитически активных нанодиамазах / Н.Н. Вершинин, В.А. Бакаев, А.Л. Гусев, О.Н. Ефимов // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 10. – С. 67-70.

[5]. *Каталитические* системы окисления оксида углерода в мягких условиях / Н.Н. Вершинин, Н.Ф. Гольдшлегер, О.Н. Ефимов, А.Л. Гусев // *Альтернативная энергетика и экология* –2008, – № 8. – С. 99-116 (обзор).

Белюсова София Алексеевна – студент ИУК7-71Б КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Sofa.Be@yandex.ru

Ломтева Римма Витальевна – студент ИУК7-71Б КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: rimmlomteva@yandex.ru

СЕКЦИЯ 7.

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАЗЕМНЫХ
ТРАНСПОРТНО–ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ И КОМПЛЕКСАХ.
ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ**

АНАЛИЗ ЗАВИСИМЫХ ПОДВЕСОК С ЦЕЛЬЮ ВЫБОРА ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Подвески на продольных рессорах. В автомобилестроении существует много способов соединения неразрезной задней балки с кузовом или с рамой. Часто для этого применяют листовые рессоры, поскольку они выступают как в роли несущего, так и в роли упругого связующего звена. Также они способны воспринимать действие сил во всех трех направлениях. Рессоры выполняют функции направляющего устройства, но на тяжелых автомобилях они вынуждены быть значительно длиннее, чем на легковых автомобилях, а значит, и податливыми в боковом направлении, что ухудшает устойчивость автомобиля в поворотах. Другой недостаток рессор – так называемый 8-образный изгиб вызванный действием тормозных сил приводит к увеличению изгибных напряжений, действующих в задних концах обеих продольных рессор (рис. 1).

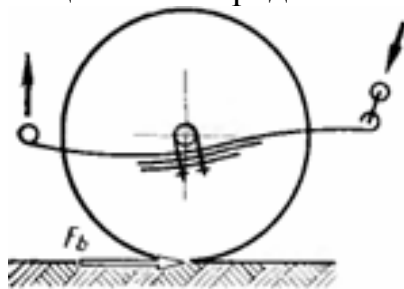


Рис. 1. Восьмиобразный изгиб рессоры

Для большей устойчивости рессорной подвески целесообразно располагать амортизаторы в ней следующим образом: один перед осью, а другой позади нее (рис. 2). Тогда при равносторонних ходах отбоя или сжатия можно будет предотвратить поворот балки путем приблизительно вертикальной установки амортизаторов с вылетом относительно оси колес.

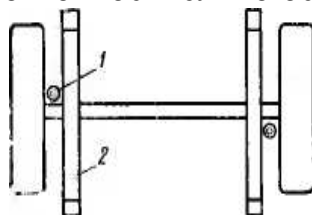


Рис. 2. Удачноерасположение амортизаторов:
1 – амортизаторы; 2 – листовые рессоры

Чтобы устранить появление 5-образного изгиба и крутильных колебаний, применяются две продольные штанги над ведущим мостом, которые при торможении работают на сжатие (и продольный изгиб), а при разгоне – на растяжение (рис. 3). Вследствие этого продольные рессоры нагружаются практически одними силами растяжения и сжатия, которые с легкостью воспринимаются коренными листами или однолистовыми рессорами.

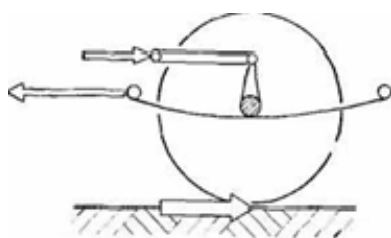


Рис. 3. Опорные штанги подвески воспринимают продольно направленные реактивные силы

Подвеска с направляющими парными рычагами. С технической точки зрения в подвеске лучше передавать вертикальные силы винтовыми пружинами, не обладающими собственным трением, а боковые – тягой Панара (рис. 4). Эта тяга описывает дугу вокруг точки крепления к кузову, в следствие чего во время ходов подвески кузов получает небольшое боковое смещение. Чем короче тяга Панара и больше наклонена к горизонту, тем больше боковое смещение при вертикальном перемещении кузова. Это приводит к смещению колес и отклонению автомобиля от заданного направления движения.



Рис. 4. Расположение тяги Панара

Механизм Уатта. Механизм Уатта управляет перемещениями в продольном направлении неразрезной балки подвески автомобиля с двух сторон (рис. 5). Преимущество этого механизма заключается в том, что во время движения в повороте балка перемещается перпендикулярно продольной оси автомобиля, причем независимо от того, нагружен автомобиль полностью или нет.

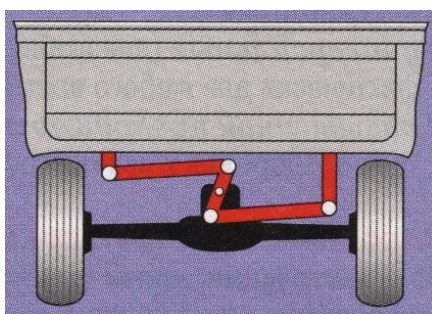


Рис. 5. Механизм Уатта

В механизме Уатта верхние продольные рычаги располагаются сзади оси автомобиля, в результате чего центр продольного крена при нагрузке ав-

томобилия оказывается за осью, что приводит к подъему задней части кузова во время торможения с небольшой интенсивностью.

Подвеска с дышлом. Все описанные выше конструкции задних подвесок совсем не влияют на изменение положения кузова при торможении и разгоне. Это объясняется тем, что центр продольного крена у них расположен в бесконечности или достаточно далеко перед осью.

Влияние на положение кузова при разгоне и торможении обеспечивает дышло, которое крепится к автомобилю посередине при помощи шарового или резинового шарнира (рис. 6). Кроме того, в сочетании с тягой Панара, расположенной за осью, или треугольным рычагом дышло обеспечивает оптимальную кинематику оси.

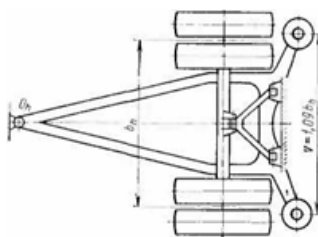


Рис. 6. Подвеска с дышлом

Подвеска с двумя продольными рычагами. Однако кинематику оси в продольном направлении может обеспечивать не только дышло в сочетании с тягой Панара. Их функцию могут выполнять два продольных рычага, которые, кроме этого, могут передавать еще тяговый и тормозной реактивный моменты (рис. 7). При разноименном ходе подвески происходит взаимный перекося рычагов, вследствие чего, конструкция обеспечивает кинематику оси.



Рис. 7. Подвеска с двумя продольными рычагами

Подвеска Де-дион. Большую неподрессоренная масса зависимой подвески ведущих колес, отрицательно влияющую на сцепление колес с дорогой, можно уменьшить путем разделения главной передачи и балки оси (рис. 8). В этом случае картер главной передачи должен быть выполнен таким образом, чтобы он мог воспринимать реактивный момент, и его можно было закрепить на поперечине подвески или на кузове. Соединение главной

передачи с колесами осуществляется полуосями с двумя подвижными шарнирами равных угловых скоростей.

К преимуществам такой подвески можно отнести простоту установки и незначительную массу агрегата, к недостаткам – несбалансированное поведение автомобиля при старте и торможении.

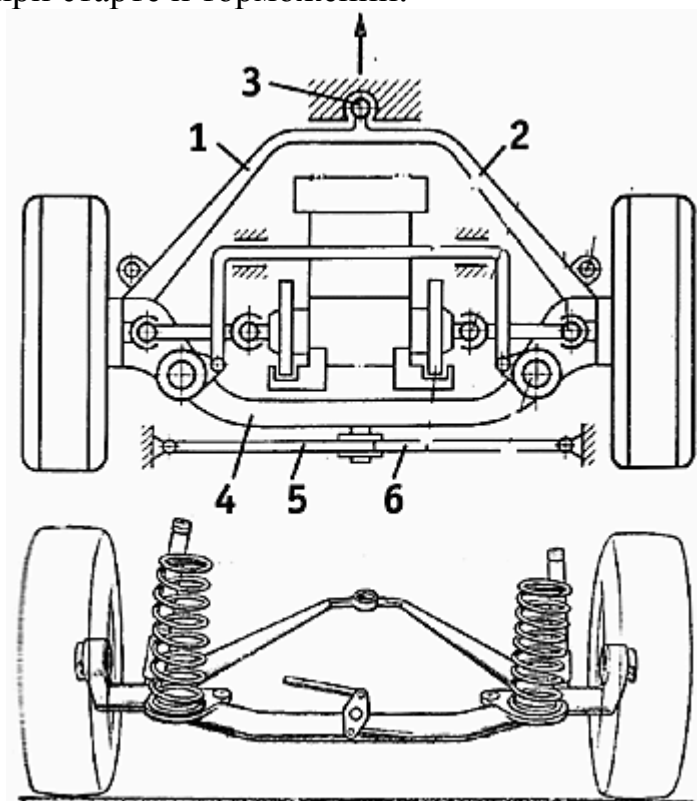


Рис. 8. Подвеска типа Де-дион:

1 и 2 – направленное вперед дышло; 3 – опора, не передающая моментов;
4 – балка; 5 и 6 – шланги, расположенного сзади механизма Уатта

Выводы. Зависимая подвеска является самым простым и самым дешевым видом подвесок. Она отличается своей надежностью, простотой обслуживания и установки, а также низкими затратами на производство. Независимая подвеска в современных автомобилях используется в основном на задней оси автомобиля, однако на некоторых автомобилях высокой проходимости устанавливается так же и спереди. Несмотря на свою надежность и простоту зависимая подвеска имеет и ряд минусов, основными из которых являются низкая комфортность, недостаточная управляемость, особенно на высоких скоростях, а также большой крен корпуса при езде по неровной дороге. Каждый тип зависимой подвески имеет свои преимущества и недостатки, однако для грузовых автомобилей больше подходит подвеска с дышлом, в сочетании с тягой Панара, а для легковых автомобилей более уместно использовать зависимую подвеску с двумя продольными рычагами.

Список литературы

[1]. Раймпель Й. Шасси автомобиля / Под редакцией И.Н. Зверева. – М.: Издательство «Машиностроение», 1983 – 355с.

[2]. *Ротенберг Р.В.* Подвеска автомобиля. – М.:Издательство «Машиностроение», 1972 – 392с.

Нахабин Иван Игоревич – студент Ат.И-31, студент КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: nakhabinivan@gmail.com

Пономарев А.И. – к.т.н., доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАДНИХ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

В настоящее время в автомобилях используется широкий спектр тормозных механизмов и систем. В легковых автомобилях большое распространение получила гидравлическая тормозная система. Данная система подразумевает использование как дисковых, так и барабанных тормозных механизмов. Автомобили бюджетного сегмента, в том числе и отечественного производства, получившие на рынке наибольшее распространение оборудованы задними барабанными тормозными механизмами. В связи с вышесказанным проведем сравнительный анализ эффективности задних тормозных механизмов дискового и барабанного типа.

Дисковый тормозной механизм представлен на рис. 1.



Рис. 1. Дисковый тормозной механизм

К основным достоинствам данного механизма можно отнести следующее:

- высокое быстродействие механизма за счет меньших зазоров между тормозными колодками и диском;
- небольшие массо-габаритные размеры, за счет компактного расположения элементов;
- быстрое растормаживание;
- охлаждение за счет вентиляции дисков;
- самоочистка диска за счет центробежных сил инерции;
- простота технического обслуживания и диагностических операций.

Среди недостатков дисковых тормозных механизмов можно выделить следующие:

- наличие коррозионного изнашивания вследствие работы в открытой среде;
- возможная деформация при чрезмерном износе;
- усложнение конструкции стояночного тормоза.

Рассмотрим основные достоинства и недостатки барабанного тормозного механизма (рис. 2).



Рис. 2. Барабанный тормозной механизм

Среди достоинств барабанных тормозных механизмов можно выделить следующие:

- достаточно хорошая защищенность от факторов окружающей среды, поэтому их более целесообразно использовать для тяжелых условий эксплуатации и автомобилей повышенной проходимости;
- длительный ресурс работы за счет большей рабочей поверхности трения и толщины рабочей части барабана;
- возможность комбинации с механизмом стояночного тормоза.

В тоже время барабанным тормозным механизмам присущ ряд существенных недостатков. Среди которых можно выделить:

- значительные массо-габаритные размеры;
- неравномерный износ тормозных колодок;
- меньшее быстродействие;
- накопление продуктов износа и коррозии внутри барабана;
- сложность технического обслуживания и диагностирования текущих параметров состояния и др. [1].

Большинство бюджетных автомобилей, как уже говорилось ранее, оборудованы передними дисковыми и задними барабанными тормозными механизмами. В результате, основываясь на проведенном выше сравнении данных типов тормозных механизмов можно сделать заключение, что их сочетание в одной тормозной системе не является оптимальным из-за значительных конструктивных различий.

Поэтому для улучшения активной безопасности автомобиля, напрямую связанной с конструктивными особенностями тормозной системы, целесообразно применить для данного типа автомобилей в качестве задних тормозных механизмов – дисковые тормозные механизмы. При этом тормозная система не претерпит значительных изменений и дополнений [2].

Улучшению эффективности работы тормозной системы будет способствовать следующее:

- Установка перфорированного тормозного диска большого диаметра с увеличенной толщиной и насечками для хорошего охлаждения и очистки от грязевой и водяной пленки.

- Установка большого суппорта с 4, 6, 8 и более поршнями для достижения высоких характеристик благодаря большой площади пятна контакта колодок с поверхностью диска и равномерному распределению усилия их нажатия на диск.

- Замена штатных тормозных шлангов на армированные, чтобы исключить их раздувание при увеличенном давлении в гидравлической магистрали.

В данной работе рассмотрена проблематика и приведены рекомендации для решения проблемы увеличения эффективности тормозных систем, обеспечивающих безопасность движения автомобиля. Данные рекомендации могут значительно увеличить производительность и эффективность тормозных систем, что положительно скажется на безопасности дорожного движения.

Список литературы

[1]. *Высочкина Л.И.* Автомобили: конструкция, расчет и потребительские свойства. – Ставрополь, 2016. – 68 с.

[2]. *Кобозев А.К.* Тракторы и автомобили. – Ставрополь, 2015. – 189 с.

Козлов Владислав Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vladislav-kozlov-2000@mail.ru

Плахов Сергей Александрович – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: sa.plahov@yandex.ru

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАСТИНОК С НЕРЕГУЛЯРНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

Современные тенденции развития техники и производства новых материалов, а также конструкций на их основе, обуславливают переход от классических металлических конструкций и элементов к изделиям из композитов. В условиях жестких требований: к механическим свойствам материалов; прочности при статических и динамических нагрузках; к повышению несущей способности и устойчивости к коррозии и безопасности конструкции при условии снижения её массы, и пр. широкое распространение получили многослойные композитные элементы.

К наиболее распространенным и эффективным композитным материалам относят пластики, в которых наполнителем служат различные волокнистые элементы (углеродные, стекловолокна, органические и др. маты, ткани, рогожи и пр.), а в качестве связующего применяются полимерные смолы. За счет изменения ориентации волокон в слоях такого композита возможно варьирование свойств готового изделия. Технологически при создании таких материалов заложена возможность изменения их свойств в широких пределах. Например, с целью повышения износостойкости, микротвердости и прочности готового материала, в работе [1] описана технология введения ультрадисперсных порошков бемита и корунда в покрытие образцов. Очевидно, что в случае многослойной структуры композитные материалы частично могут быть как анизотропными, так и изотропными. Анизотропия свойств полимерных композитов, введение дополнительных покрытий, промежуточных слоев и модифицирующих элементов помимо очевидных преимуществ с точки зрения получения комплекса эксплуатационных свойств значительно усложняют расчет подобных конструкций.

Вопросам построения расчетных моделей в механике деформируемых полимерных анизотропных композиционных материалов посвящено значительное число работ, например [2-3]. Исследование их упругопластического поведения получило значительное распространение в теории многослойных анизотропных пластин и оболочек [4]. Проектирование деталей типа пластинок должно учитывать характерное разрушение данных тонкостенных конструкций при превышении предела прочности, а также учитывать потерю общей и местной устойчивости. Актуальным является решение подобных задач для различных вариантов напряженно-деформированного состояния. При этом получение их аналитических решений в общем виде связано с громоздкостью и трудоемкостью расчета, сложностью применяемых математических моделей, особенно при дискретном расположении различных граничных условий. Задание дискретных граничных условий предполагает использование численных методов, так как отсутствует непрерывность в задании этих условий. Таким образом, в подобных случаях аналитическое решение дифференциальных

уравнений представляет значительные сложности, поэтому построение решений математической модели предполагает использование численных методов.

Применяя современную вычислительную технику, можно значительно ускорить процесс проектирования с помощью численных методов, а также получить возможность проведения имитационного моделирования с последующим описанием свойств, применяемых материалов и их эксплуатационных характеристик. Дискретные граничные условия предполагают определение напряженно-деформированного состояния (НДС) многослойной композитной пластинки в заданных с определенным шагом местах на её контуре. Такие параметры НДС пластинки можно получить с помощью конечно-элементного анализа с наибольшим спектром возможностей для расчета и проектирования с помощью пакета ANSYS. Использование данного пакета позволит решить статические и динамические задачи прочности, а также линейной и нелинейной устойчивости прямоугольной пластинки, нагруженной нормальным неравномерным давлением с учетом свойств материалов, задаваемых в различных направлениях, что дает возможность в широком диапазоне варьировать граничные условия и в результате получить величины внутренних сил и критических нагрузок.

Список литературы

[1]. *Сорокина И.И.* Перспективы применения полимерных композитных материалов с добавлением нанокристаллических порошков оксида алюминия в конструировании и ремонте сельскохозяйственной техники [Текст] / И.И. Сорокина, М.В. Астахов // *Технология металлов.* – 2012. – № 12. – С. 18-20.

[2]. *Алфутов Н.А., Зиновьев П.А., Попов Б.Г.* Расчёт многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1984. – 263 с.

[3]. *John W., Gillspie J., Pipes R.B.* Compressive strength of Composite Laminates with Interlaminar Defects // *Composite structures.* – 1984. – Vol. 2. – P. 49-69.

[4]. *Теория анизотропных пластин: Прочность, устойчивость и колебания* / С.А. Амбарцумян. – М.: Наука, 1987. – 360 с.

Славкина Екатерина Викторовна – старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: e.v.slavkina@gmail.com

Сорокина Ирина Игоревна – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: sorokina-i@yandex.ru

Астахов Михаил Владимирович – профессор, д-р техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: k5-kf@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРЯМОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ КОЛЁСНОГО ТРАКТОРА КЛАССА 1,4

Моделирование внешних воздействий на колесный трактор при исследовании его движения по опорной поверхности с различной высотой неровностей остается в настоящее время актуальной [1].

Расчетная схема двухмостового колесного трактора класса 1,4 представлена на рис. 1.

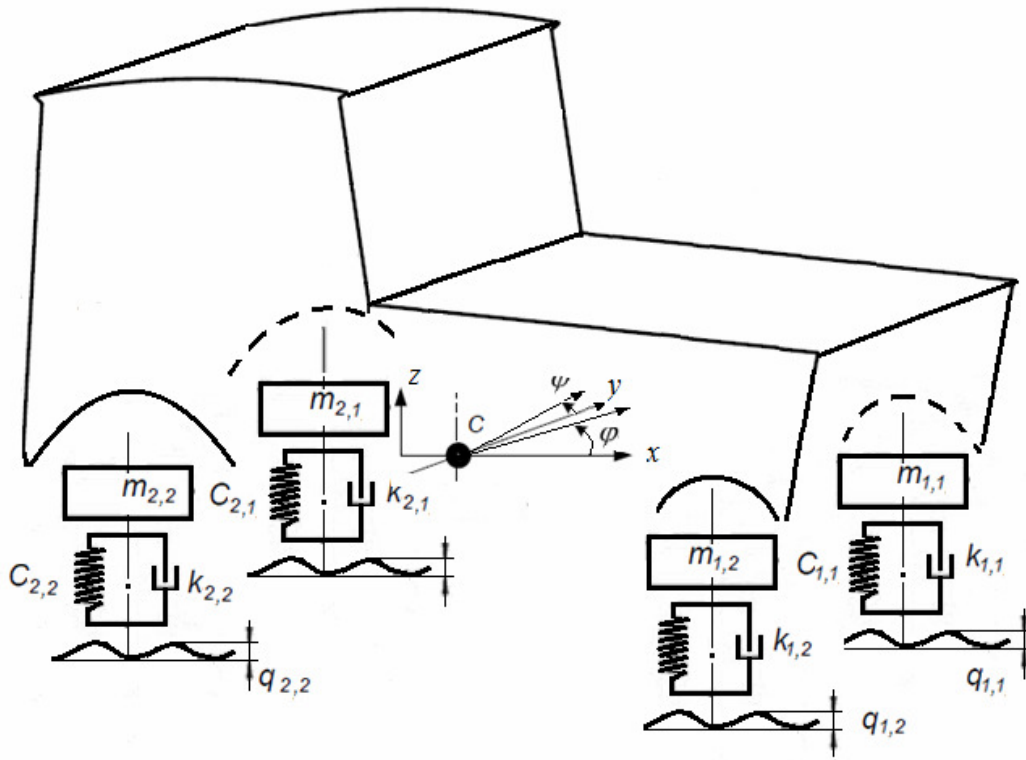


Рис. 1. Расчетная схема трактора:

c – центр масс трактора; x, y, z – продольная, поперечная и вертикальная координаты центра масс трактора; φ, ψ – углы дифферента и крена трактора; c_{ij} – коэффициент жесткости шины i -го колеса j -го борта; k_{ij} – коэффициент демпфирования шины i -го колеса j -го борта; q_{ij} – высота неровности опорной поверхности под i -м колесом j -го борта

Для описания профиля опорной поверхности, применим наиболее распространенный тип аппроксимации корреляционных функций [1, 2]:

$$R(l) = D e^{-\alpha|l|} \cos(\beta l), \quad (1)$$

где l – длина пути, D – дисперсия неровностей микропрофиля, α и β – коэффициенты, характеризующие степень нерегулярности профиля.

Для определения высоты неровности и скорости её изменения под каждым колесом трактора (рис. 1) была создана модель в программе Simulink, 218

зависящая от изменения продольной координаты движения трактора (интеграл от скорости движения) с блоком ввода дорожного профиля (1), изменения вертикальной и продольной координаты профиля с учетом базы трактора, а также левого и правого бортов (рис. 2).

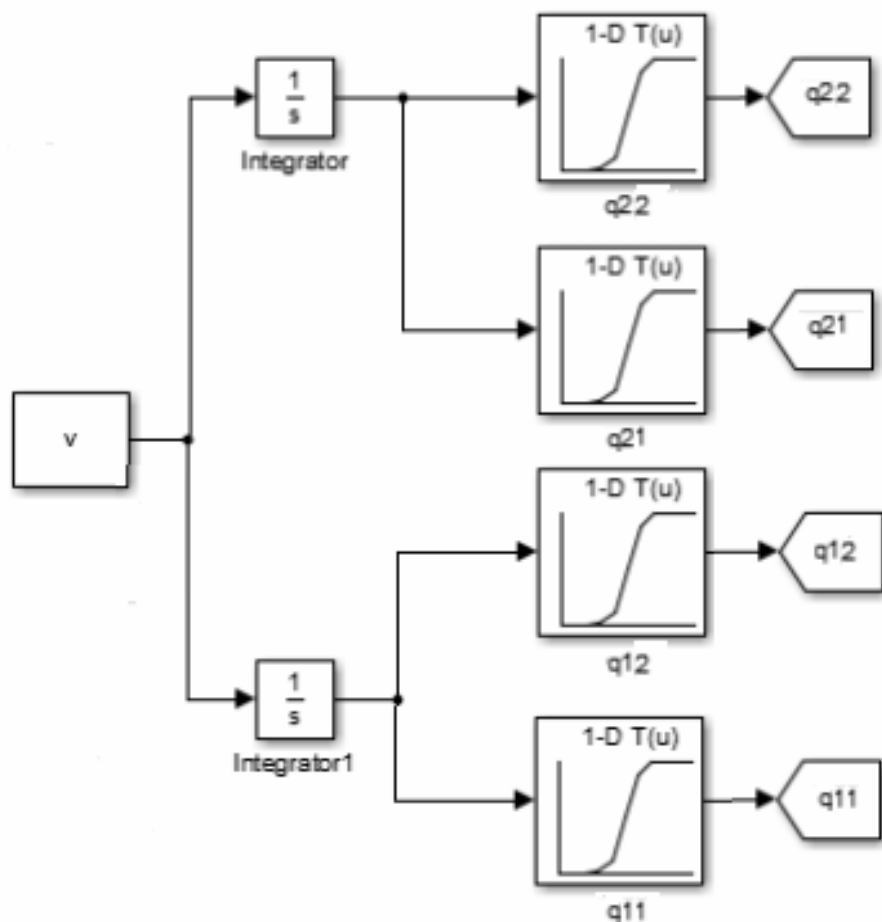


Рис. 2. Схема вычисления высоты и скорости изменения дорожной неровности под отдельными колесами, и блок ввода дорожного профиля

Результат моделирования опорной поверхности – бездорожье представлены на рис. 3.

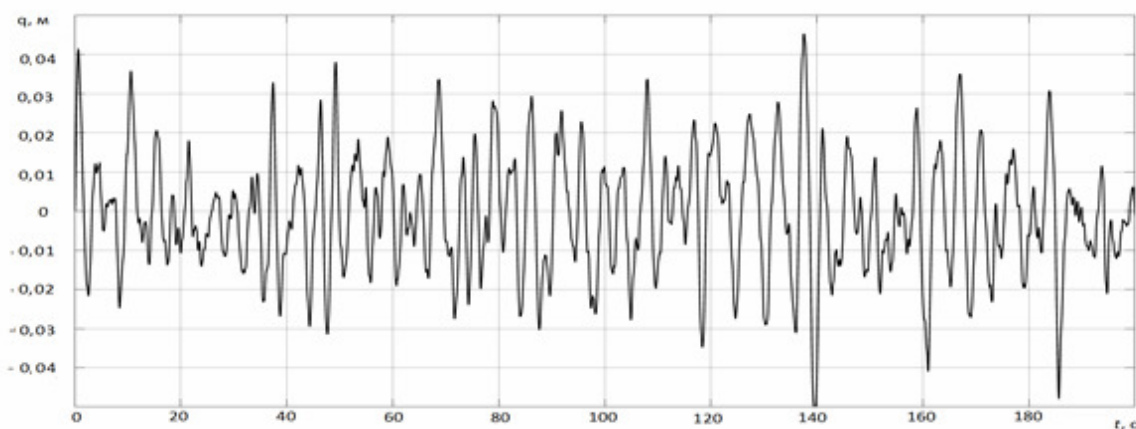


Рис.3. Результат моделирования опорной поверхности – бездорожье

На основании моделирования можно сделать вывод, что колесный трактор подвергается в процессе движения воздействию значительных вертикальных колебаний, которые влияют на эффективность выполнения технологических операций, степень комфорта тракториста, а в некоторых случаях – на его безопасность и здоровье.

Список литературы

[1]. *Жилейкин М.М., Котиев Г.О.* Моделирование систем транспортных средств: учебник / М.М. Жилейкин, Г.О. Котиев. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 280 с.

[2] *Гурский Н.Н.* Моделирование и оптимизация колебаний многоопорных машин / Н. Н. Гурский, Р. И. Фурунжиев. – Минск: Изд-во БНТУ, 2008 – 296 с.

Сидорова Анастасия Владимировна – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Бауман. E-mail: nancy85@yandex.ru

Алакин Виктор Михайлович – заместитель директора по инновациям, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: alakin@bmstu-kaluga.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА БОКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ И УСТОЙЧИВОСТИ ГРУЗОВОГО ФУРГОНА ПРИ КРИВОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ

При криволинейном движении транспортного средства происходит боковая и вертикальная передача нагрузки на левые и правые колеса, и диапазон LTR изменяется в пределах $[-1, 1]$. Коэффициент боковой передачи - это индикатор, используемый для прогнозирования нагрузки на колеса с целью предотвращения ситуаций опрокидывания. Когда $LTR=0$, нагрузки на левые и правые колеса транспортного средства равны, что указывает на то, что транспортное средство будет двигаться устойчиво и не опрокинется. Когда $LTR=\pm 1$, нагрузка на обе стороны шины транспортного средства будет меняться при движении в пределах от нуля до максимального значения, и это означает, что одна сторона колес будет на грани отрыва от земли, а вторая перегружена, что указывает на вероятность опрокидывания транспортного средства [1-3].

Коэффициент боковой передачи определяется как отношение разности между суммой нагрузок на наружные колеса и нагрузок на внутренние колеса к сумме всех нагрузок на колесо. Поэтому оценка боковой и вертикальной нагрузки на шины обычно считается сложной аналитической задачей в различных условиях дорожного движения и эксплуатационной нагрузки особенно для автомобилей типа фургон.

Коэффициент боковой передачи LTR определяется как [1-3]:

$$LTR = \frac{Z_H - Z_B}{Z_H + Z_B}, \quad (1)$$

где Z_H – вертикальная нагрузка на внешние колеса; Z_B – вертикальная нагрузка на внутренние колеса.

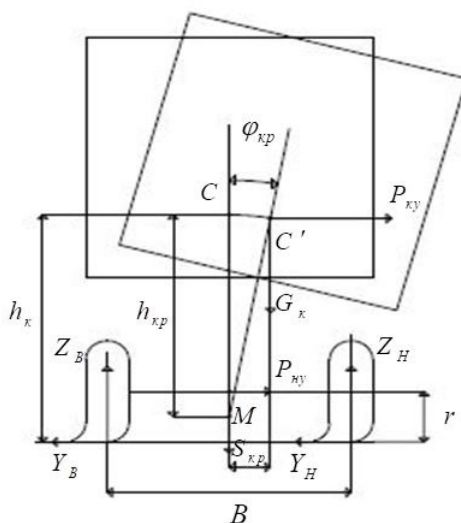


Рис.1. Схема сил и реакций, действующих на автомобиль

Для расчета коэффициента боковой передачи применительно к серийному фургону определили угол крена, поперечную силу, плечо крена, угловую жесткость и нормальные реакции.

Угол крена (в рад) можно определить следующим образом [3]:

$$\psi_{кр} = \frac{P_{ку} h_{кр}}{(C_{y1} + C_{y2}) - G_k h_{кр}}, \quad (2)$$

где C_{y1}, C_{y2} – угловая жесткость передней и задней подвески автомобиля; $h_{кр}$ – плечо крена; G_k – подрессоренная масса исследуемого автомобиля; $P_{ку}$ – поперечная сила подрессоренных масс исследуемого автомобиля.

Поперечную силу подрессоренных масс фургона определили при допустимых среднего эксплуатационного движения автомобиля по дуге постоянного радиуса в пределах средней кривизны движения на городских и пригородных поворотах по формуле [1,5]:

$$P_{ку} = \frac{M_k v^2}{R}, \quad (3)$$

где M_k – масса кузова грузового фургона, v – скорость автомобиля, R – радиус поворота автомобиля.

Плечо крена масс машины h_k определили расчетным путем по данным, полученным в результате исследования расположения центра масс груженого фургона при условно горизонтальном и наклонном положении [4]:

$$h_{кр} = h_m - \frac{a_k h_2 - b_k h_1}{L}, \quad (4)$$

где h_1 и h_2 – соответственно расстояния от поверхности дороги до переднего и заднего центра крена, a_k – расстояние от центра масс до переднего моста, b_k – расстояние от центра масс до заднего моста.

Расчет угловой жесткости передней или задней подвески фургона со стабилизатором при граничном условии параметра угла крена определили по формуле [5]:

$$C_{y1(y2)} = \frac{0,4 h_{кр} M_{n1} (M_{n2}) g}{[\psi]} + M_{n1} (M_{n2}) g h_{кр} \quad (5)$$

где M_{n1} – подрессоренная масса, приходящаяся на переднюю ось, кг, M_{n2} – подрессоренная масса, приходящаяся на заднюю ось, кг, ψ – угол крена принимаем по эксплуатационным требованиям 6 град для грузовых автомобилей, g – ускорение свободная падения, B – колея передних колес.

Нормальные реакций, действующие на каждое переднее или заднее колеса определили по формуле:

$$Z_{1н} = 0,5 G_1 + \frac{C_{y2} \psi_{кр} + P_{ку1} h_1}{B} \quad (6)$$

$$Z_{2н} = 0,5 G_2 + \frac{C_{y2} \psi_{кр} + P_{ку2} h_2}{B} \quad (7)$$

где $Z_{1н}, Z_{2н}$ – нормальные реакции на переднее и заднее наружное колесо, $Z_{1в}, Z_{2в}$ – нормальные реакции на переднее и заднее внутреннее колесо, $P_{кy1}, P_{кy2}$ – поперечная сила, действующая на переднюю и заднюю часть автомобиля, $h_{кр}$ – плечо крена, h_1, h_2 – расстояние от поверхности дороги до переднего и заднего центра крена и B – колея автомобиля.

В результате исследований получили параметры боковой силы, коэффициент боковой, угол крена, плечо крена, угловую жесткость, нормальные реакции и коэффициент боковой передачи, а значит вероятности его опрокидывания или устойчивого движения для модернизируемого автомобиля типа фургон с учетом его полной нагрузки при эксплуатационных значениях скоростей и радиусов поворота.

Список литературы

[1]. *Rakheja S. and Piche' A.* Development of directional stability criteria for an early warning safety device. SAE Technical paper 902265, 1990.

[2]. *Verma M.K. and Gillespie T.D.* Roll dynamics of commercial vehicles. Veh.SystemDynamics, 1980. –9(1). –P 1–17.

[3]. *Kamnik R., Boettiger F. and Hunt K.* Roll dynamics and lateral load transfer estimation in articulated heavy freight vehicles, Proc.Inst. Mech. Eng. D, J. Automob. – Eng. 217(13) (2003). – P. 985–997.

[4]. *Артамонов М.Д., Иларионов В.А., Морин М.М.* Основы теории и конструкции автомобиля: Учебник для техникумов. Изд. 2-е, перераб. – М.: Машиностроение, 1974. – 288с.

[5]. *Тарасик В.П.* Теория и движения автомобиля: Учебник для вузов / В.П. Тарасик – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 478 с.: ил.

Тинт Наинг Вин – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: tintnaingwin1990@gmail.com

Алакин Виктор Михайлович – заместитель директора по инновациям, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: alakin@bmstu-kaluga.ru

РАЗРАБОТКА ЕЗДОВЫХ ЦИКЛОВ ДЛЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Легковые автомобили составляют основную долю от общего числа транспортных средств. Во многих странах они являются одними из самых быстрорастущих типов транспортных средств, в основном из-за неадекватных условий общественного транспорта. Из-за роста количества автомобилей за последние два десятилетия качество воздуха во многих городах резко ухудшилось.

При испытании транспортных средств для сертификации норм выбросов широкое применение получили ездовые циклы. За последние десятилетия ездовые циклы были разработаны для многих городов. Каждый цикл уникален из-за различных условий движения, техники сбора данных и типа транспортного средства, рассматриваемых в исследовании. Эта уникальность также отражается в изменении продолжительности цикла; например, цикл Сиднея имеет продолжительность 637 секунд (с), тогда как цикл Сингапура имеет продолжительность 2344 с.

Продолжительность цикла должна быть достаточно длинной, чтобы содержать достаточно микроциклов, отражающих реальное поведение вождения, но и достаточно короткой, чтобы облегчить тестирование большое количество транспортных средств в лабораторных условиях [1]. Ездовые циклы легковых автомобилей характеризуются серией параметров: ускорение, замедление, холостой ход и движения без нагрузки.

Разработка ездового цикла состоит из трех этапов: выбор маршрута, сбор данных и построение цикла. Выбор маршрута включает выбор репрезентативного маршрута, который соответствует изменению дорожных условий в исследуемой области. Маршрут может состоять из скоростных автомагистралей, центральных и вспомогательных дорог. При сборе данных посекундная скорость транспортного средства, движущегося по выбранному маршруту, записывается либо методом погонной машины, либо бортовым измерением [2]. Этап построения цикла состоит из разделения всех данных на микроциклы, определения параметров оценки микроциклов, разработки ездового цикла путем объединения тех микроциклов, которые удовлетворяют критериям оценки.

Целью данной статьи является разработка ездового цикла для легковых автомобилей для города Калуги. Использование реальных данных обеспечивает репрезентативность разработанного цикла реальным городским условиям. Следовательно, разработанный ездовой цикл может использоваться для испытаний транспортных средств на выбросы в лаборатории, а также в качестве входных данных для моделирования оценки выбросов.

Сбор информации. Аппаратура для измерения и записи данных располагалась на испытываемом автомобиле. Данные о движении по городу (ско-

рость-время) были собраны с помощью GPS Garmin etrex 10. и бортового диагностического считывателя (OBD). Посекундная скорость автомобиля регистрировалась во время каждого из тестовых запусков. Испытываемый автомобиль, маршрут и время испытаний выбирались с учетом динамики городского транспорта.

Различные режимы движения транспортного средства были определены как; холостой ход (скорость равна нулю), крейсерская скорость (скорость > 5 км/ч, ускорение $< 0,1$ м/с² и замедление $< 0,1$ м/с²), медленное движение (скорость < 5 км/ч, ускорение и замедление $< 0,1$ м/с²), замедление (скорость > 5 км/ч и замедление $> 0,1$ м/с²) и ускорение (скорость > 5 км/ч и ускорение $> 0,1$ м/с²).

Параметры ездового цикла. Различные параметры, используемые для описания характеристик вождения, были определены из обзора литературы [3]. В качестве критериев оценки были выбраны следующие параметры:

- 1) Средняя скорость (V) – Средняя скорость всей поездки (км/ч)
- 2) Средняя скорость движения (V_r) – Средняя скорость за всю поездку без учета времени простоя (км/ч)
- 3) Среднее ускорение (a) – Среднее ускорение за всю поездку (м/с²)
- 4) Среднее замедление (d) – Среднее замедление за всю поездку (м/с²)
- 5) Процент времени, проведенного в режиме ускорения (P_a) – скорость более 5 км / ч и ускорение более 0,1 м / с²
- 6) Процент времени, проведенного в режиме замедления (P_d) – скорость более 5 км / ч и замедление более 0,1 м / с²
- 7) Процент времени, проведенного в режиме ожидания (P_i) – скорость равна нулю (%)
- 8) Процент времени, проведенного в крейсерском режиме (P_c) – скорость более 5 км / ч, а ускорение и замедление должны быть менее 0,1 м/с².
- 9) Процент времени, проведенного в режиме медленного передвижения (P_{cr}) – скорость менее 5 км/ч, а ускорение и замедление должны быть менее 0,1 м/с²
- 10) Среднеквадратичное ускорение (a_{rms}) - м / с²

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a^2}{n}}, \quad (1)$$

11) Положительная кинетическая энергия ускорения (РКЕ) – энергия, необходимая для ускорения на единицу расстояния (м/с²)

$$PKE = \frac{\sum (V_i^2 - V_{i-1}^2)}{\text{расстояние}}, \quad (2)$$

где V_i = скорость в i момент в м / с, а V_{i-1} = скорость в $i-1$ момент в м/с.

Определение приемлемого цикла. После расчета параметров оценки для цикла претендента (называемого тестовой статистикой) была определена разница между целевой и тестовой статистикой; если разница составляла ме-

нее 5%, то этот предполагаемый цикл принимался в качестве ездового цикла [4]. Относительная ошибка для меры оценки была рассчитана с использованием выражения:

$$\Delta_k = \sum_{i=1}^n \frac{p_i - P_i}{P_i} \times 100, \quad (3)$$

где, k – индекс для параметра оценки (k изменяется от 1 до 11), а Δ_k – значение относительной ошибки для параметра k ; P_i – целевой i параметр всех собранных данных; p_i – целевой i параметр каждого микроцикла (предполагаемый цикл); n – количество целевых параметров

Дальнейшее уточнение цикла движения было выполнено путем вычисления абсолютных сумм относительной ошибки (S_j) и выбора цикла движения с минимальным значением S_j . Абсолютная сумма относительных ошибок (S_j) была рассчитана для каждого параметра путем суммирования относительной ошибки отдельного параметра для данного маршрута по выражению:

$$S_j = \sum_{k=1}^n \Delta_k, \quad (4)$$

Заключение. Ездовые циклы необходимы для оценки реальных выбросов и расхода топлива от транспортных средств и для целей сертификации выбросов. Несмотря на то, что ездовые циклы изучаются более четырех десятилетий, динамический характер условий движения требует постоянных исследований в этой области.

Для легковых автомобилей наблюдалась значительная разница в поведении вождения между периодами пиковой и непиковой нагрузки, поэтому были разработаны отдельные ездовые циклы. Для понимания времени, проведенного в различных режимах работы, использовались графики распределения частоты ускорения и скорости. Разработанный ездовой цикл сравнивался с существующими ездовыми циклами, что показало уникальность дорожных условий в городе Калуга.

Это исследование имеет следующие ограничения. Во-первых, ограниченное количество рассматриваемых транспортных средств может не соответствовать фактическому автопарку. Во-вторых, тестовый маршрут состоял только из городских артерий. Не учитывались автомобильные дороги и местные улицы, по которым также проходит значительный транспортный поток. В-третьих, не учитывалась вариативность в поведении водителей.

Дальнейшее исследование может быть выполнено путем сбора данных о других типах дорог, таких как автомагистрали и местные дороги, а также о других типах транспортных средств.

Список литературы

[1]. *Amirjamshidi G.* Development of simulated driving cycles for light, medium, and heavy duty trucks / G. Amirjamshidi, M. J. Roorda // *Transport and Environment*. – 2015. – №34. – С. 255–266.

[2]. *Andre M.* The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions // *Science of the Total Environment*. – 2004. – С. 334–335.

[3]. *Hung W. T.* Development of a practical driving cycle construction methodology / W. T. Hung, Lee H. Y. и Tong // *Transport and Environment*. – 2007. №12. – С. 115–128.

[4]. *Knez M.* The estimation of a driving cycle for celje and a comparison to other european cities / M. Knez, T. Muneer, и K. Cullinane // *Sustainable Cities and Society*, – 2014. – №11. – С. 56–60.

Зар Ни Лиин – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zarniznl15@gmail.com

Сидоров Владимир Николаевич – зав. кафедрой, д-р техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: sidorov-kaluga@yandex.ru

СИСТЕМА ЭКСТРЕННОГО ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Система экстренного торможения предназначена для максимальной эффективности тормозов в экстренной ситуации. Она позволяет сократить тормозной путь, согласно статистике, на 20-25%. Система контролирует большое количество значений, а в частности – скорость движения данного автомобиля, скорость движения впереди идущего автомобиля и усилие тормозной системы. Если система понимает, что впереди есть преграда и водитель не предпринимает никаких мер, чтобы её избежать, она включается.

Рассмотрим два типа создания максимального тормозного усилия: пневматический и гидравлический. Пневматическое усилие создается за счет воздушных тормозов. Воздушные тормоза используются в основном в грузовых транспортных средствах. Т.к. это облегчает управление всей системы из одного места и это более надежно. Например, когда грузовик цепляется к прицепу или полуприцепу ему легче подключить воздушные тормоза (соединить между собой специальные трубки для подачи воздуха под давлением), чем это были бы гидравлические, т.к. пришлось бы соединять трубки гидравлики, чтобы не произошло завоздушивание [1].

Конструкция пневматического типа состоит из электромагнитного привода штока, электронного блока управления и датчика быстроты перемещения штока вакуумного усилителя, устанавливается обычно на те автомобили, которые оборудованы антиблокировочной системой – ABS (рис. 1) [2].

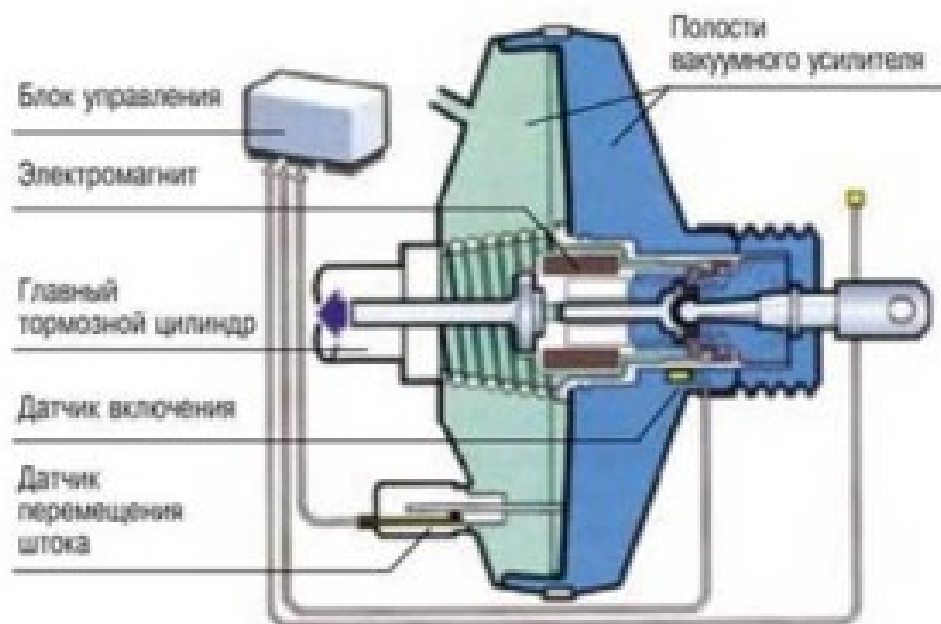


Рис. 1. Схема вакуумного усилителя тормозов

Гидравлические тормоза используются практически на всех легковых автомобилях. У них есть свои плюсы:

- могут останавливаться на более коротких расстояниях;

- сжать гидравлику намного сложнее, чем воздух;
- занимают меньше места.

Гидравлическая система создает давление в тормозной системе за счет курсовой устойчивости (ESC). Система включает гидравлический насос этой системы, исходя из показаний датчиков ЭБУ, тем самым увеличивая давление до максимума. Исходя из конкретных условий, ЭБУ создаёт оптимальное тормозное усилие на каждое колесо [3].

В системе экстренного торможения используются радары и датчики, которые обнаруживают впереди автомобиля препятствия (рис. 2). Если расстояние между автомобилями быстро уменьшается, то система сканирует всю ситуацию и, либо снижает скорость автомобиля, либо вовсе останавливает его. Даже если столкновение произошло, то последствия будут намного меньше, чем если бы эта система не сработала.



Рис. 2. Схема считывания дороги радаром

Наиболее известные системы экстренного торможения:

- АЕВ (Automatic Emergency Braking) от TRW;
- Pre-Safe Brake в — Mercedes-Benz;
- City Safety в автомобилях Volvo;
- CMBS (Collision Mitigation Braking System) в Honda.

Выводы. Система экстренного торможения автомобиля очень важна, она значительно снижает количество возникновения ДТП и соответственно, смертей. Эта система в настоящее время развивается довольно стремительно и доступна во многих автомобилях. Я думаю, что отечественные производители автомобилей, такие как: «ВАЗ», «УАЗ», «ГАЗ» должны быть оборудованы этой системой. Она не сильно повлияет на цену автомобилей, зато делает ситуацию на дороге более безопасной.

Список литературы

[1]. *Нарбут А.Н.* Автомобили: Рабочие процессы и расчет механизмов и систем. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 256 с.

[2]. Система экстренного торможения. – URL: https://yandex.ru/turbo/fastmb.ru/s/auto_shem/181-sistema-ekstrennogo-tormozheniya.html (дата обращения 29.10.2020 г.)

[3]. Системы экстренного торможения автомобиля. – URL: <https://techautoport.ru/hodovaya-chast/tormoznaya-sistema/sistema-ekstrennogo-tormozheniya.html> (дата обращения 29.10.2020 г.)

Касымов Максим Сергеевич – студент МК6-31 КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kasymov.makx@gmail.com

Плахов Сергей Александрович – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: sa.plahov@yandex.ru

УЧЁТ СКОЛЬЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ГАЗА НА СТЕНКЕ ИЗОТРОПНОГО ПОРИСТОГО ДРОССЕЛЯ

Рассматривается осесимметричная относительно координатной оси z конструкция газостатического подпятника с газовой смазкой, условно показанная на рис. 1. Газ под давлением p_n подаётся к нижней поверхности пористого изотропного дросселя и, пройдя сквозь его поры, попадает в рабочий зазор подпятника высотой h . Из рабочего зазора газ вытекает в окружающую среду с давлением p_0 . Математическое моделирование течения газа ведётся в цилиндрических координатах r, φ, z .

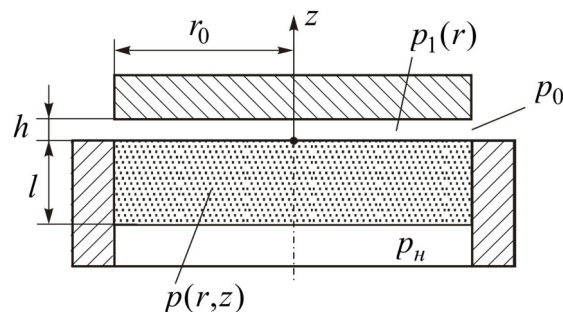


Рис. 1. Газовый подпятник с пористым дросселем

Целью настоящей работы является вывод уравнения, которому подчиняется изменение давления $p_1(r)$ в рабочем зазоре, когда учитывается радиальное скольжение частиц газа на пористой стенке изотропного дросселя. Для этого выделим в рабочем зазоре элементарный параллелепипед с высотой h (рис. 2) и выведем уравнение сохранения массы газа в нём.

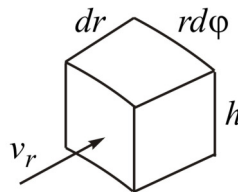


Рис. 2. Криволинейный параллелепипед

Необходимо учесть, что размер h в подпятниках и подшипниках с газовой смазкой имеет значение порядка нескольких микрон [1]. На основании этого полагается, что по толщине зазора давление газа $p_1(r)$ не меняется и равно давлению $p(r,z)|_{z=0}$ на поверхности дросселя, обращённой к рабочему зазору, откуда, в частности, следует равенство $\partial p_1 / \partial r = (\partial p / \partial r)|_{z=0}$. Кроме того, полагается, что течение газа установившееся (стационарное) и подчиняется изотермическому процессу. С учётом осесимметричности конструкции перетечки газа в направлении угловой координаты φ исключаются и закон

сохранения массы газа в контрольном объёме (рис. 2) будет иметь вид $dQ_r + dQ_z = 0$. Вычислим элементарные расходы dQ_r и dQ_z .

Интегрирование уравнения Рейнольдса $\partial p_1 / \partial r = \mu (\partial^2 v_r / \partial z^2)$ для тонкого газового слоя по его толщине, с учётом независимости ни p_1 , ни $\partial p_1 / \partial r$ от z , даёт соотношение

$$v_r = \frac{1}{2\mu} \frac{\partial p_1}{\partial r} z^2 + C_1(r)z + C_2(r), \quad (1)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости газа. Чтобы найти функции $C_1(r)$ и $C_2(r)$ нужно рассмотреть условия на стенках рабочего зазора.

Согласно гипотезе прилипания, на поверхности неподвижного подпятника $v_r|_{z=h} = 0$.

Во многих работах по газовой смазке приближённо полагается, что в рабочем зазоре и на поверхности пористого дросселя радиальная скорость также равна нулю. На самом же деле логично полагать, что она будет равна радиальной скорости частиц газа в слое дросселя, примыкающего непосредственно к рабочему зазору, где согласно закону Дарси [2], $v_r = -(\sigma_r / \mu)(\partial p / \partial r)|_{z=0}$. Здесь σ_r – коэффициент проницаемости пористого дросселя в направлении радиальной координаты r .

Записав теперь уравнение (1) при $z = 0$ и при $z = h$ находим, что

$$C_2 = -\frac{\sigma_r}{\mu} \frac{\partial p}{\partial r} \Big|_{z=0}, \quad C_1 = \left(\frac{\sigma_r}{\mu h} - \frac{h}{2\mu} \right) \frac{\partial p}{\partial r} \Big|_{z=0}$$

и, следовательно, скорость частиц газа рабочего зазора

$$v_r(r, z) = -\frac{1}{2\mu} \left[z(h-z) + 2\sigma_r \left(1 - \frac{z}{h} \right) \right] \frac{\partial p}{\partial r} \Big|_{z=0}. \quad (2)$$

Через элементарную площадку $rd\phi \times h$ за время dt массовый расход газа

будет иметь значение $Q_r = rd\phi dt \int_0^h v_r dz$. Согласно равенству (2)

$$\int_0^h v_r dz = -\frac{1}{2\mu} \left(\frac{h^3}{6} + \sigma_r h \right) \frac{\partial p}{\partial r} \Big|_{z=0}.$$

С учётом того, что при изотермическом процессе плотность газа ρ связана с давлением линейной зависимостью $\rho = kp$, где $k = const$, указанный радиальный расход газа будет иметь значение

$$Q_r = -\frac{rd\phi k dt}{4\mu} \left(\frac{h^3}{6} + \sigma_r h \right) \frac{\partial p^2}{\partial r} \Big|_{z=0}.$$

Через противоположную грань расход возрастёт на величину

$$dQ_r = \frac{\partial Q_r}{\partial r} dr = -\frac{rd\phi k dt}{4\mu} \left(\frac{h^3}{6} + \sigma_r h \right) \left(\frac{\partial p^2}{\partial r} \Big|_{z=0} + r \frac{\partial^2 p^2}{\partial r^2} \Big|_{z=0} \right).$$

За тот же промежуток времени dt через грань $rd\phi \times dr$ из дросселя в контрольный объём поступит масса газа $dQ_z = \rho v_z rd\phi dr dt$, где $\rho = kp$ а $v_z = -(\sigma_z/\mu)(\partial p/\partial z)|_{z=0}$ согласно закону Дарси. Здесь σ_z – коэффициент проницаемости пористого материала дросселя в направлении координатной оси z . Следовательно

$$dQ_z = kp \left(-\frac{\sigma_z}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \Big|_{z=0} \right) rd\phi dr dt = -kr dr d\phi dt \frac{\sigma_z}{2\mu} \frac{\partial p^2}{\partial z} \Big|_{z=0}.$$

Поток газа из дросселя в контрольный объём направлен против внешней нормали. Следовательно, в последнем выражении нужно изменить знак и закон сохранения массы газа $dQ_r + dQ_z = 0$ позволяет получить уравнение

$$\left(\frac{h^3}{12} + \frac{\sigma_r h}{2} \right) \left(\frac{\partial p^2}{\partial r} \Big|_{z=0} + r \frac{\partial^2 p^2}{\partial r^2} \Big|_{z=0} \right) - r \sigma_z \frac{\partial p^2}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0.$$

Переходя к безразмерным переменным $R = r/r_0$, $P = p/p_a$, $Z = z/l$ и вводя обозначение $U = P^2$, последнее уравнение представим в виде

$$\left(\frac{h^3 l}{12 r_0^2 \sigma_z} + \frac{h l \sigma_r}{2 r_0^2 \sigma_z} \right) \left(\frac{1}{R} \frac{\partial U}{\partial R} \Big|_{Z=0} + \frac{\partial^2 U}{\partial R^2} \Big|_{Z=0} \right) - \frac{\partial U}{\partial Z} \Big|_{Z=0} = 0. \quad (3)$$

Оценим, теперь, влияние учёта скольжения частиц газа рабочего зазора на пористой стенке изотропного дросселя на точность расчёта подпятника, когда $\sigma_r = \sigma_z = \sigma$. Именно наличие второго слагаемого в первой круглой скобке уравнения (3) обусловлено учётом указанного скольжения. Примем во внимание, что для реальных конструкций первое слагаемое $h^3 l / 12 r_0^2 \sigma$ имеет порядок величин $\approx 10^0 \dots 10^{-2}$, в то время как выражение $h l / 2 r_0^2$ – значение порядка $\approx 10^{-3} \dots 10^{-4}$. Отсюда следует, что пренебрежение скольжением частиц газа рабочего зазора на пористой стенке изотропного дросселя вносит несущественные погрешности в расчёты.

Список литературы

- [1]. Шейнберг С.А., Жедь В.П., Шишеев М.Д. Опоры скольжения с газовой смазкой. – М.: Машиностроение, 1969. – 334 с.
 [2]. Коллинз Р. Течения жидкостей через пористые материалы. – М.: Мир, 1964. – 350 с.

Винокуров Виктор Николаевич – доцент, канд. физ.-мат. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: bbn01@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ.....	3
1. Е.Н. Малышев, С.С.Аксенов ВЫБОР ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДЕТАЛИ ТИПА ЗУБЧАТЫЙ ВЕНЕЦ.....	4
2. Д.И. Кузнецов АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ К ПРОИЗВОДСТВУ ИЗДЕЛИЙ ТИПА ЭЛЕКТРОАГРЕГАТ.....	6
3. Н.С. Касумов, Н.В. Зенкин ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА ТОЧНОСТЬ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ.....	8
4. В.В. Марочкин, М.В. Мусохранов ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВОЙ КОЭФФИЦИЕНТА СМЯТИЯ ПРОФИЛЯ.....	11
5. В.В. Платонов, С.А. Бысов ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАЛАДКИ СТАНКОВ.....	13
6. Р.Р. Фадеев, М.В. Мусохранов ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОГО МЕСТНОГО УГЛА НАКЛОНА ОЦЕНИВАЕМОГО ПРОФИЛЯ.....	16
7. В.В. Калмыков, Э.С. Анкуда НАНОПОКРЫТИЯ НА РЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ.....	19
8. В.И. Виноградов, Н.В.Зенкин ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОГРАНКИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ НАРУЖНОЙ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОЙ РЕЗЬБЫ ДИСКОВОЙ ФРЕЗОЙ.....	21
9. В.В. Белокрылова, В.А. Богачев, Д.Н. Михайлов, Е.В. Рыков, И.В. Солдатова, Е.В. Харитоновна, В.К. Шаталов, А.О. Штокал ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЭКРАННО-ВАКУУМНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ДЛЯ СПУСКАЕМЫХ МОДУЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	25
10. Д.Э. Мартынов, Е.Н. Малышев ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТЕ В УСЛОВИЯХ АО «КНИИТМУ».....	31
11. И.Д. Соколова, Э.С. Анкуда ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ.....	33

12. В.А. Федоров, Е.Н. Малышев	
ПРИМЕНЕНИЕ ГРУППОВЫХ МЕТОДОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕРЕЖЛИВЫХ ПРОИЗВОДСТВ В МАШИНОСТРОЕНИИ	37
13. А.Н. Малышев, К.В. Яшкин	
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ВИДОВ ЗАГОТОВОК И НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	39
14. А.А. Юдаева, Т.А. Журавлева	
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКОЙ	43
15. И.Р. Насевич, А.Г. Вяткин	
ВЛИЯНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА ТЕХНИЧЕСКУЮ НОРМУ ВРЕМЕНИ.....	48
СЕКЦИЯ 2.	
ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА	51
1. В.Е. Ботников, И.Н. Зыбин	
ВЛИЯНИЕ ПОДГОТОВКИ КРОМОК НА КАЧЕСТВО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО СПОСОБОМ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ	52
2. Д.М. Медведев, И.Н. Зыбин	
ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ЗОНЕ СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ	55
СЕКЦИЯ 3.	
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА	58
1. М.В. Инюхин, В.К. Шаталов	
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА КАРКАСНЫХ ПСЕВДОСПЛАВОВ СОСТАВА ВОЛЬФРАМ-МЕДЬ И ПЕРСПЕКТИВ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ	59
2. С.А. Корнев, Р.А. Мишенев, В.В. Андреев	
МЕТОД ПРЯМОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО СИНТЕЗАТОРА	64
3. Р.А. Мишенев, С.А. Корнев, Д.П. Островский, С.А. Адарчин	
ПРИМЕНЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПРОФИЛОМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРОВОДЯЩЕГО СЛОЯ ТОЛСТОПЛЕНОЧНОГО РЕЗИСТОРА	68
4. М.В. Инюхин, А.П. Коржавый, В.В. Максимов, В.К. Шаталов	
РОЛЬ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ВТОРИЧНЫХ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТХОДОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ.....	72

5. А.А. Дмитриев, В.В. Шагаев	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ	77
6. К.Г. Голубков, В.В. Андрее	
ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА МАГИСТРАЛЬНОГО ПРИЕМНИКА.....	82
7. И.В. Пазенко, Д.В. Андреев	
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОХЛАЖДАЕМЫХ ФОТОДИОДОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ АНТИМОНИДА ИНДИЯ	86
СЕКЦИЯ 4.	
ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ГИДРОМАШИНЫ	90
1. Е.Н. Ильдияров, А.А. Анкудинов	
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ЖРД С ПРЕДВКЛЮЧЕННОЙ СТУПЕНЬЮ.	91
2. А.В. Ващенко, А.А. Анкудинов	
ВЛИЯНИЕ ОСЕВОЙ ДЛИНЫ ОСЕВИХРЕВОЙ СТУПЕНИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСА	95
3. А.А. Жинов, Р.С. Киселев	
ВЛИЯНИЕ ТИПА И КОНСТРУКЦИИ БАНДАЖА НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ВИБРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАКЕТА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ.....	98
4. А.А. Анкудинов, А.А. Богатырёв	
ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАВИТАЦИОННЫХ ВИХРЕВЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ	102
5. Е.В. Каримулина, О.Г. Шитохина	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАЗОРА МЕЖДУ РОТОРОМ И СТАТОРОМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕВОГО НАСОСА	105
6. М.С. Даньшин	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ РЕГЕНЕРАЦИИ НА ГАБАРИТЫ ТРУБЧАТОГО РЕКУПЕРАТОРА ГТУ	108
7. Г.В. Волков, В.Ю. Савин	
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОДАЧИ В ПЛАСТИНЧАТЫХ НАСОСАХ.....	112
8. А.С. Лычагин, В.Ю. Савин	
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОДАЧИ В ШЕСТЕРЕННЫХ НАСОСАХ.....	116
9. А.С. Коваленко, В.Ю. Савин	
АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПРОФИЛЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС ШЕСТЕРЕННЫХ НАСОСОВ.....	119

10. А.А. Козырев, А.А. Жинов	
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ КОЛОНИИ МАРСИАНСКОЙ МИССИИ.....	123
11. Д.А. Мусатов, В.Ю. Ильичёв	
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ	126
12. К.С. Каньшин, А.Н. Сизов	
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ В ГИДРОСИСТЕМАХ И УЗЛАХ.....	129
13. В.Ю. Ильичев, А.А. Лужецкий	
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ГАБАРИТОВ И СТОИМОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПЛАСТИНЧАТЫХ РЕКУПЕРАТОРОВ ГТУ	134
14. А.И. Галкин, О.Г. Шитохина	
СХЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЛАСТИНЧАТЫХ НАСОСОВ	140
15. В.С. Малахов, А.Н. Сизов	
УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОГО НАСОСА	143
16. И.П. Заболотский, О.Г. Шитохина, Ф.Л. Чубаров	
АНАЛИЗ РАБОТЫ РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ НАСОСА РЕГУЛЯТОРА ГТУ НА РЕЖИМАХ ПОВЫШЕННЫХ ОБОРОТОВ.....	147
17. Л.А. Жебелев, Е.А. Юрик	
МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕПАРАТОРА-ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ ТУРБОАГРЕГАТА ДЛЯ РЕАКТОРА ВВЭР-440	151
СЕКЦИЯ 5.	
МЕТОДЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ; АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ	154
1. В.О. Милосердов, Ю.П. Корнюшин	
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ОРГАНИЧЕСКИМ РАБОЧИМ ТЕЛОМ СТАЦИОНАРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ.....	155
2. Н.В. Щербаков, М.О. Корлякова	
КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕКСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	159

СЕКЦИЯ 6.

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ.....163

1. С.Н. Никулина, Е.А. Чериканова

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ 164

2. А.И. Генералова

АНАЛИЗ ПРОВЕДЕНИЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД
МЕТОДАМИ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ И ОЗОНИРОВАНИЯ 168

3. С. Юнак

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ
СТОЧНЫХ ВОД БИОФИЛЬТРОВ И ОКСИТЕНКОВ 172

4. М.А. Голубина, С.А. Кусачева

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАГООБРАЗОВАНИЯ
В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ОБРАЖНОЙ ЭРОЗИИ 177

5. В.С.Иванова , А.А. Кузина

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯЭЙХОРНИИ
ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ..... 179

6. Е.В. Алмазов, М.И. Морозенко

ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИИ
ПЕРЕРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ ОТХОДОВ..... 184

7. А.С. Гордеев, А.Р. Крицкая, А.В. Крицкая

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ
ПО СОДЕРЖАНИЮ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ 190

8. В.С. Ишманов, Ю.С. Шинко

ПРИМЕНЕНИЕ СВЧ ТЕХНОЛОГИЙ 195

9. М.А. Диденко

ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ГОРОДОВ..... 198

10. С.А. Белоусова, Р.В. Ломтева

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА..... 202

СЕКЦИЯ 7.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО– ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И КОМПЛЕКСАХ.

ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ.....207

1. И.И. Нахабин, А.И. Пономарев

АНАЛИЗ ЗАВИСИМЫХ ПОДВЕСОК С ЦЕЛЬЮ ВЫБОРА
ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ..... 208

2. В.А. Козлов, С.А. Плахов	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАДНИХ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ.....	213
3. Е.В. Славкина, И.И. Сорокина, М.В. Астахов	
К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАСТИНОК С НЕРЕГУЛЯРНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ.....	216
4. А.В. Сидорова, В.М. Алакин	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРЯМОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ КОЛЁСНОГО ТРАКТОРА КЛАССА 1,4.....	218
5. Тинт Наинг Вин, В.М. Алакин	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА БОКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ И УСТОЙЧИВОСТИ ГРУЗОВОГО ФУРГОНА ПРИ КРИВОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ.....	221
6. Зар Ни Лин, В.Н. Сидоров	
РАЗРАБОТКА ЕЗДОВЫХ ЦИКЛОВ ДЛЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ	224
7. М.С. Касымов, С.А. Плахов	
СИСТЕМА ЭКСТРЕННОГО ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ	228
8. В.Н. Винокуров	
УЧЁТ СКОЛЬЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ГАЗА НА СТЕНКЕ ИЗОТРОПНОГО ПОРИСТОГО ДРОССЕЛЯ	231

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ
И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ**

**Материалы
Всероссийской научно-технической конференции**

Том 1

Научное издание

Все работы публикуются в авторской редакции. Авторы несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений

Подписано в печать 17.11.2020
Формат 60x90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс»
Печ. л. 15. Усл. п. л. 13,95

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Оригинал-макет подготовлен в Редакционно-издательской группе
отдела научной инновационной деятельности
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2, тел. 57-31-87