

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**



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>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	<i>Бирюкова Е.А.</i> к.филос.н., доцент

**НЗ4 Научное развитие технологий в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе:** материалы Всероссийской научно-технической конференции, 16–18 ноября 2021 г. Т. 1. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. – 150 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, 2021  
© Калужский филиал МГТУ  
им. Н. Э. Баумана, 2021  
© Издательство МГТУ  
им. Н. Э. Баумана, 2021

## **СЕКЦИЯ 1.**

# **ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

## **ВЛИЯНИЕ НАСТРОЙКИ СБОРНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ**

Повышения точности обработки всегда является значимой задачей для машиностроения одновременно с вопросами повышения эффективности операций механической обработки деталей и сборки узлов и машин. В частности, это относится и к операциям обработки отверстий.

Сверление является наиболее распространенной операцией для обработки отверстий. Наиболее эффективным способом повышения производительности процесса обработки отверстий является использование сборного инструмента, оснащенного пластинами из инструментальных твердых сплавов, что обеспечивает высокопроизводительную обработку и значительное снижение себестоимости изготовления отверстий.

Поэтому, увеличив производительность сверления, используя инструмент, оборудованный инструментальным твердым сплавом, можно достигнуть значительного уменьшения производственных затрат. В отличие от цельных инструментов, из быстрореза и твердого сплава и сверл, с напайными твердосплавными пластинами сборные инструменты, для обработки отверстий, укомплектованные режущими частями (пластинами, головками) из инструментальных твердых сплавов имеют следующие преимущества:

1. Повышение стойкости на 25...30 %, поскольку твердосплавные пластины не имеют термических напряжений (свойственные для процесса пайки), которые значительно снижают ресурс прочности и способствуют образованию трещин, сколов и поломок.

2. Высокие скорости резания и производительность за счет использования в процессе обработки инструментов из твердых сплавов.

3. Короткое время настройки инструментов на размер благодаря легкости замены износившихся режущих кромок и взаимозаменяемости пластин.

4. Нет необходимости снова затачивать инструмент.

5. Стабильность геометрических показателей инструментов, которые характеризуются формированием пластин и гнезд под них.

6. Экономия достаточно редкого вольфрама благодаря возврату в металлургическую промышленность примерно 90% израсходованных пластин, в то время как оборот напайных пластин составляет примерно 15%.

7. Минимальный резерв инструментов в общем, поскольку один и тот же корпус сверла, зенкера или развертки может использоваться для различных режущих пластин.

8. Низкая стоимость обработки и существенное повышение экономической эффективности.

9. Использование покрытий с хорошими показателями по износостойкости.

10. Эффективное использование сборных режущих инструментов на современных станках с числовым программным управлением (ЧПУ), так как есть возможность производить обработки без дополнительной подналадки

Отверстия, полученные сверлами со сменными пластинами, по большей части обладают допуском в пределах IT11-12. Такой инструмент имеет высокую универсальность и чрезвычайную надежность, а также может использоваться для большого числа разных операций. Сверла со сменными головками позволяют обеспечить точность отверстий по качеству IT9-10.

### Список литературы

[1]. Болотин Х.Л., Костромин Ф.П. Станочные приспособления. — М.: Машиностроение, 1973. — 245 с.

[2]. Артамонов, Е.В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов. / Е.В. Артамонов – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. – 192 с

[3]. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / Под ред. А.М. Дальского. — М.: Машиностроение, 2001. — 914 с.

[4]. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения. — М.: Высшая школа, 2001. — 591 с.

[5]. Баканов, А.А. Методика проектирования сборных сверл со сменными многогранными пластинами. / А.А. Баканов // Инженерный вестник Дона.: Ростов-на-Дону - 2013. Т. 25. № 2 (25). С. 63.

**Михаил Сергеевич Вишнеvский** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: mishavishnevskiy74@gmail.com

**Евгений Николаевич Малышев** – заведующий кафедры КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mk1@gmail.com

А.О. Штокал, Е.В. Рыков, А.В. Артемьев, Е.А. Никишкин,  
В.К. Шаталов, В.А. Богачев, О.П. Баженова, Т.В. Рожкова,  
В.Д. Демина, И.В. Солдатова, Д.В. Сергеев

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИАМЕТРА СФЕРЫ УПОРА НА СТОЙКОСТЬ МДО-ПОКРЫТИЯ ПЛОЩАДКИ К ВИБРОДИНАМИЧЕСКОМУ НАГРУЖЕНИЮ ПРИ ВЫВЕДЕНИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ЦЕЛЕВУЮ ОРБИТУ**

Одними из важнейших ограничений при проектировании космических аппаратов являются габаритные, так как их размеры в транспортном состоянии должны обеспечить размещение космического аппарата под головным обтекателем ракеты-носителя, и даже по возможности допустить установку попутной нагрузки, формируя так называемые кластерные сборки (см. рис. 1), что позволяет иногда значительно сократить стоимость транспортировки космического аппарата на целевую орбиту.

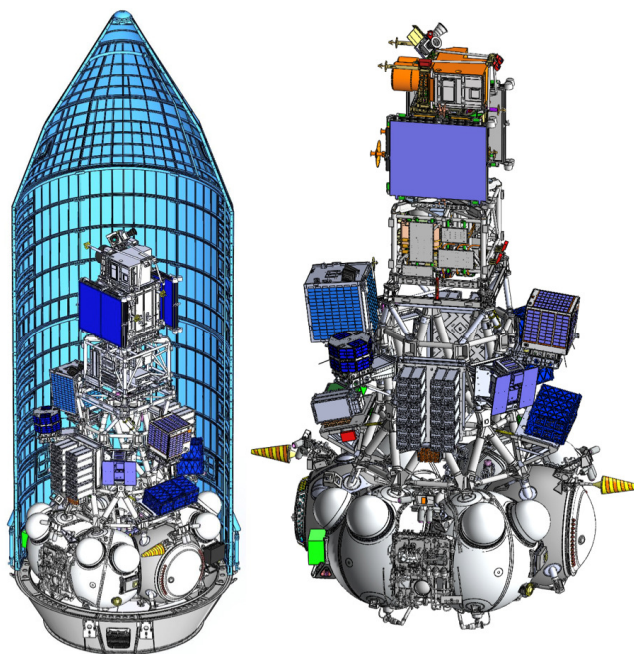


Рис. 1. Расположение разгонного блока «Фрегат» и полезной нагрузки под головным обтекателем ракеты-носителя «Союз-2» в рамках типичной кластерной миссии [1]

В случае если на космический аппарат необходимо устанавливать такие элементы конструкции, которые в рабочем положении выходят за габариты головного обтекателя ракеты-носителя, приходится организовывать их в виде узлов раскрытия. Чаще всего узлами раскрытия космических аппаратов являются солнечные батареи, антенны практических всех видов, крышки, штанги для вынесения особо чувствительных приборов на значительное удаление от основной массы космического аппарата, посадочные опоры,

резервируемые элементы конструкции. Ключевым функциональным отличием узлов раскрытия космических аппаратов является обязательное наличие двух положений – транспортного (сложенного) и рабочего (раскрытого). Пример космического аппарата на целевой орбите с узлами раскрытия в рабочем положении см. на рис. 2.

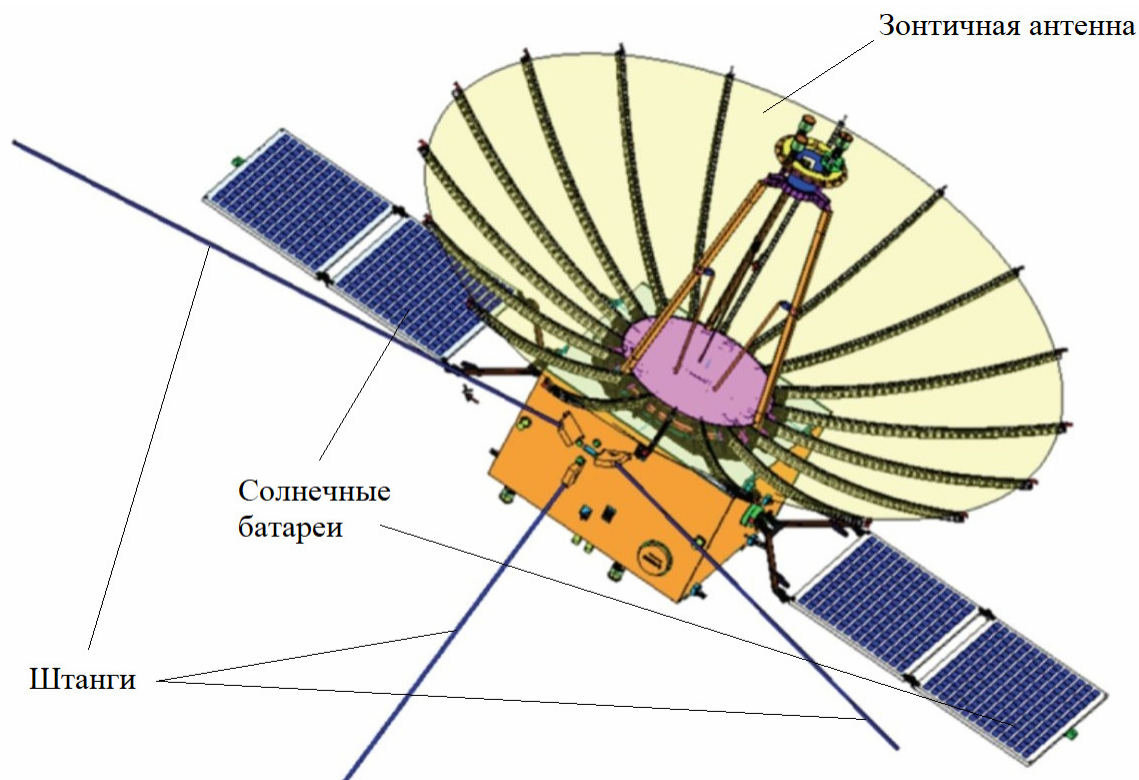


Рис. 2. Китайский космический аппарат-ретранслятор «Цюэцяо» [2]

Условия работы узла раскрытия формируют его конструктивный облик, имеющий определённые элементы, свойственные практически всем узлам раскрытия без исключения. Они условно изображены на принципиальной схеме узла раскрытия (рис. 3).

Узлы раскрытия, как правило, устанавливаются на несущую конструкцию космического аппарата 1 при помощи корневых кронштейнов 2. В процессе изменения положения узла раскрытия как правило после достижения целевой орбиты полезная нагрузка 5, установленная на силовом элементе 3, переводится в рабочее положение при помощи движителя 4, в роли которого выступает система элементов запасённой энергии (чаще всего пружин) или привод. Фиксацию узла раскрытия в транспортном положении обеспечивает узел зачековки 7, обычно имеющий в своём составе пирочеку, пироболт или актуатор, а выборку зазоров при переводе узла раскрытия в транспортное положение обеспечивают элементы распора 6.

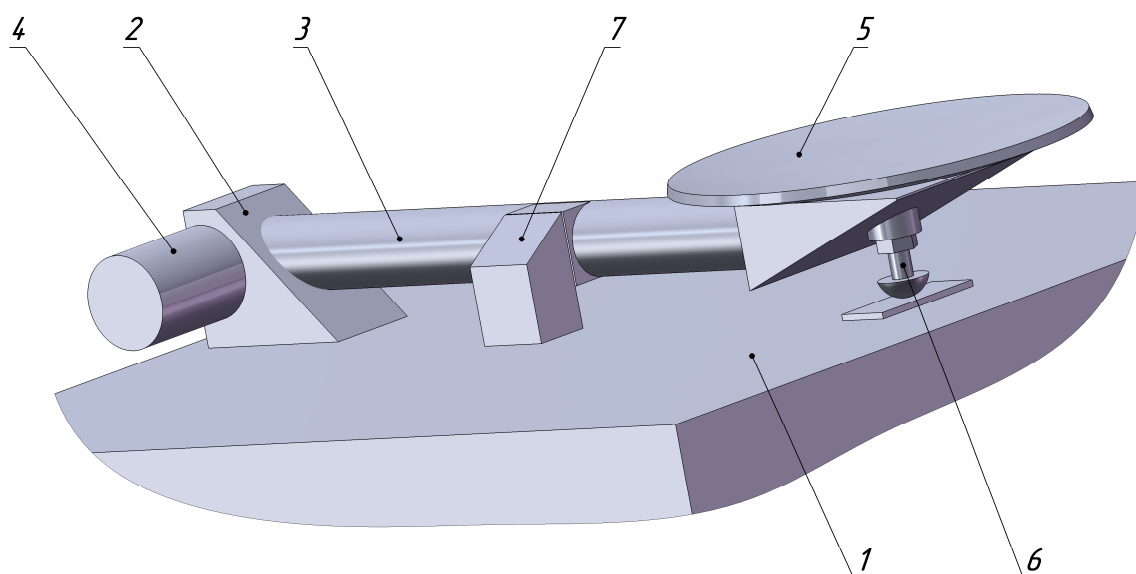


Рис. 3. Принципиальная схема узла раскрытия. 1 – несущая конструкция космического аппарата, 2 – корневой кронштейн, 3 – силовой элемент, 4 – движитель, 5 – полезная нагрузка, 6 – элемент распора, 7 – узел зачековки

Характерной особенностью работы элементов распора узлов раскрытия является наличие контактирующих поверхностей, работающих в состоянии сложного нагружения в процессе выведения космического аппарата на целевую орбиту, а также сохраняющих контакт в течение всего времени нахождения узла раскрытия в транспортном положении в условиях космического пространства [3].

Имеется информация [4], что металлические контактирующие поверхности в условиях космического пространства в результате относительно длительного контакта становятся склонными к адгезии (холодной сварке), что неоднократно подтверждено натурной эксплуатацией систем космических аппаратов. Экспериментально установлено [5], что использование твёрдых смазочных покрытий на основе дисульфида молибдена типа ВНИИ НП-230 (иностранный аналог – Vespel SP3) не позволяет предотвратить контакт металлических поверхностей в виду истирания покрытия на всю глубину в процессе сложного виброударного нагружения на поверхности при транспортировке космического аппарата на целевую орбиту. Результаты исследования учёных из Европейского космического агентства (ЕКА) [6] также подтверждают данный вывод, а также указывают на то, что керамикоподобные оксидные слои, сформированные на поверхностях алюминиевых и титановых сплавов, обеспечивают надёжную защиту от адгезии при фреттинг-нагружении. При этом имеется информация [7], что диффузионная сварка керамических материалов происходит в условиях, недостижимых при эксплуатации космических аппаратов на околоземной орбите, а также во всех текущих и перспективных миссиях ближайших десятилетий.



Таким образом, можно заявить об уникальности задачи разработки и создания покрытия, устойчивого к фреттингу и виброударным нагрузкам в процессе выведения космического аппарата на целевую орбиту, и при этом не подверженного диффузионной сварке и адгезии в процессе длительного нагруженного контакта в условиях космического пространства. При этом наиболее перспективными материалами для выполнения поставленной задачи представляются композиты, состоящие из пластичной металлической подложки, воспринимающей виброударное нагружение, которая покрыта тонкими керамическими слоями, препятствующими адгезии металлических поверхностей элементов распора в условиях космического пространства. [3]

В проведённой работе исследовали влияние диаметра сферы упора элемента распора узла раскрытия (см. рис. 4) на стойкость площадки из алюминиевого сплава со сформированным на её поверхности МДО-покрытием.

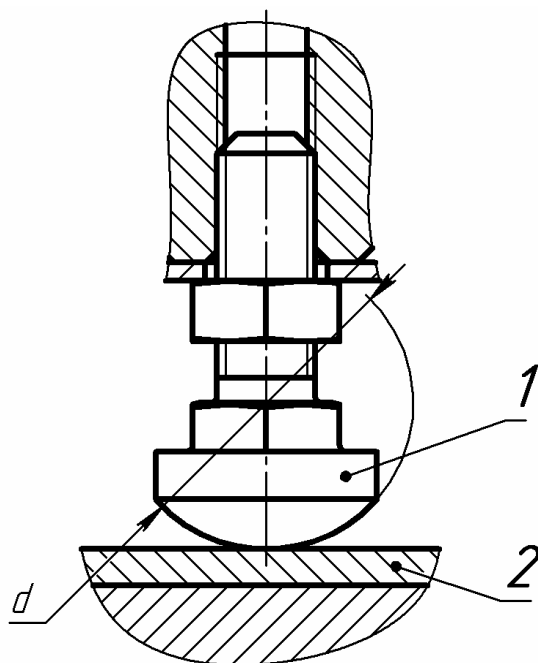


Рис. 4. Имитация элемента распора узла раскрытия:

1 – упор, 2 – площадка,  $d$  – исследуемый диаметр сферы упора

Проведённые ранее исследования показали, что наибольшей стойкостью к виброударным нагрузкам в процессе выведения космического аппарата на целевую орбиту обладают площадки, изготовленные из алюминиевого сплава Д16АТ, со сформированным на их поверхности МДО-покрытием толщиной около 120 мкм. Режимы формирования МДО-покрытия следующие:

- состав электролита: 2 г/л  $KOH$  + 12,5 г/л  $Na_2SiO_3 \cdot 12H_2O$ ;
- плотность тока: 10,5-11,0 А /  $dm^2$ ;
- соотношение значения катодной составляющей тока к анодной: 1,0-1,1;
- время экспозиции: 600 мин.

Упоры традиционно изготавливают с диаметром сферы 18 мм из стали 20Х13 и подвергают закалке и высокому отпуску. В предположение, что с

ростом диаметра сферы нагрузка в зоне контакта будет распределяться на большую площадь, что приведёт к меньшим напряжениям в материале площадки, для выполнения экспериментов были изготовлены упоры с диаметрами сфер 18, 22, 25 и 30 мм согласно эскизам рис. 5-8 соответственно.

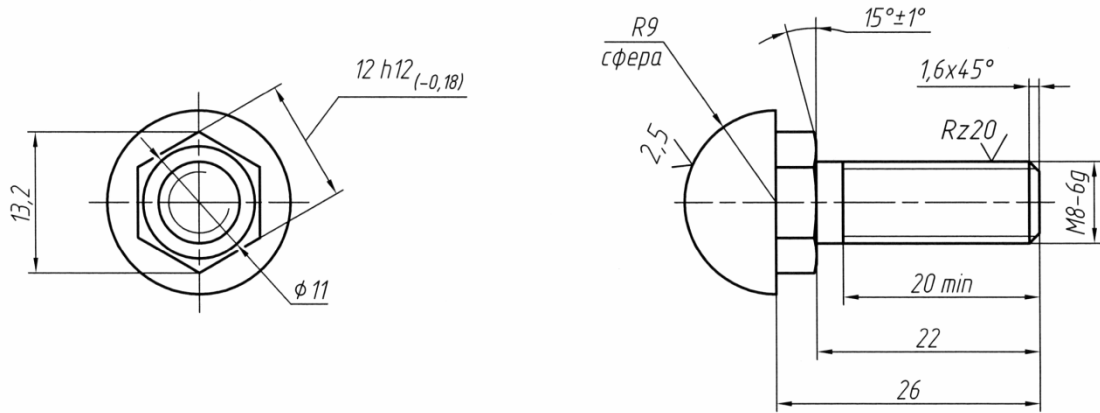


Рис. 5. Эскиз упора с диаметром сферы 18 мм

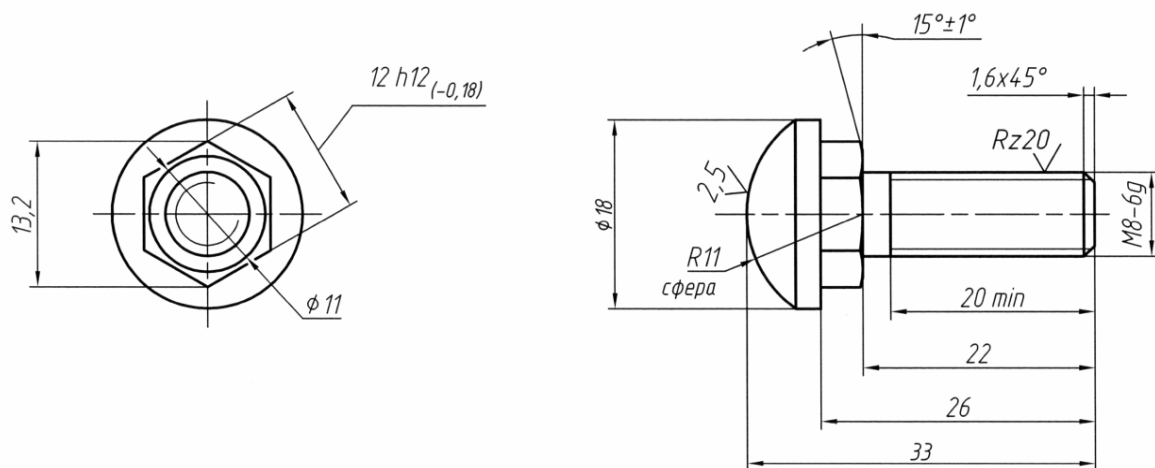


Рис. 6. Эскиз упора с диаметром сферы 22 мм

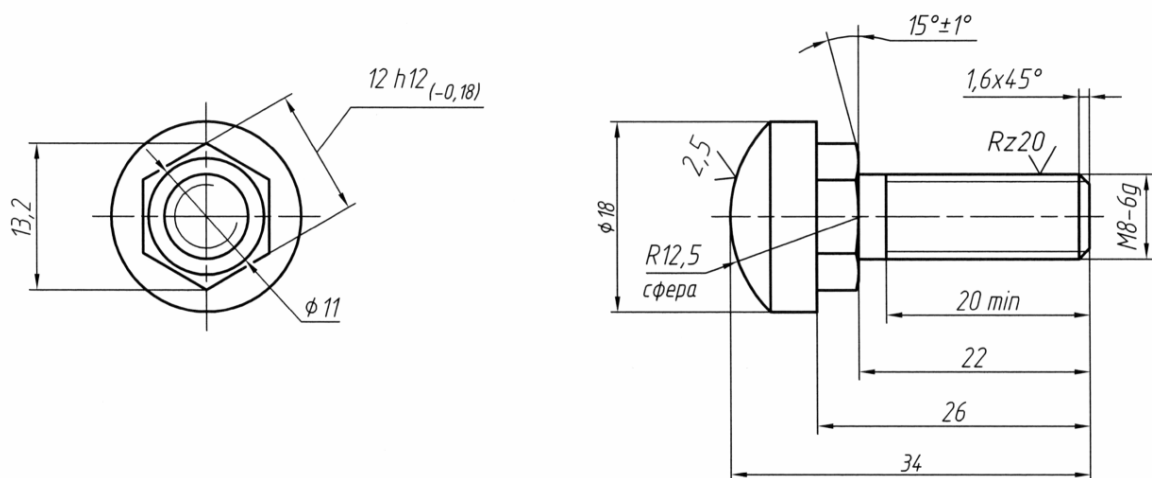


Рис. 7. Эскиз упора с диаметром сферы 25 мм

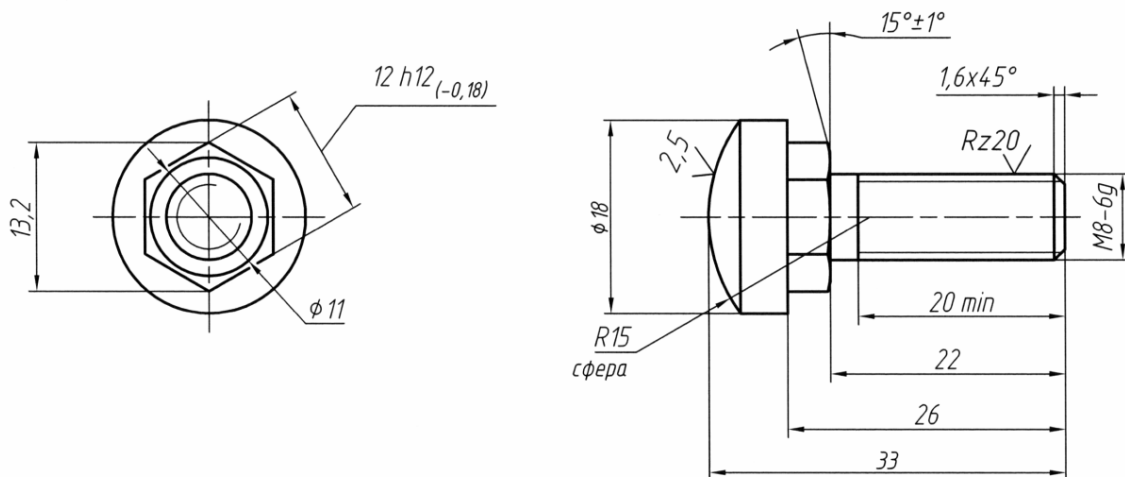


Рис. 8. Эскиз упора с диаметром сферы 30 мм

Для проведения экспериментов было изготовлено приспособление, изображённое на рис. 9, предназначенное для моделирования вибродинамических нагрузок, возникающих при выведении космического аппарата на целевую орбиту.

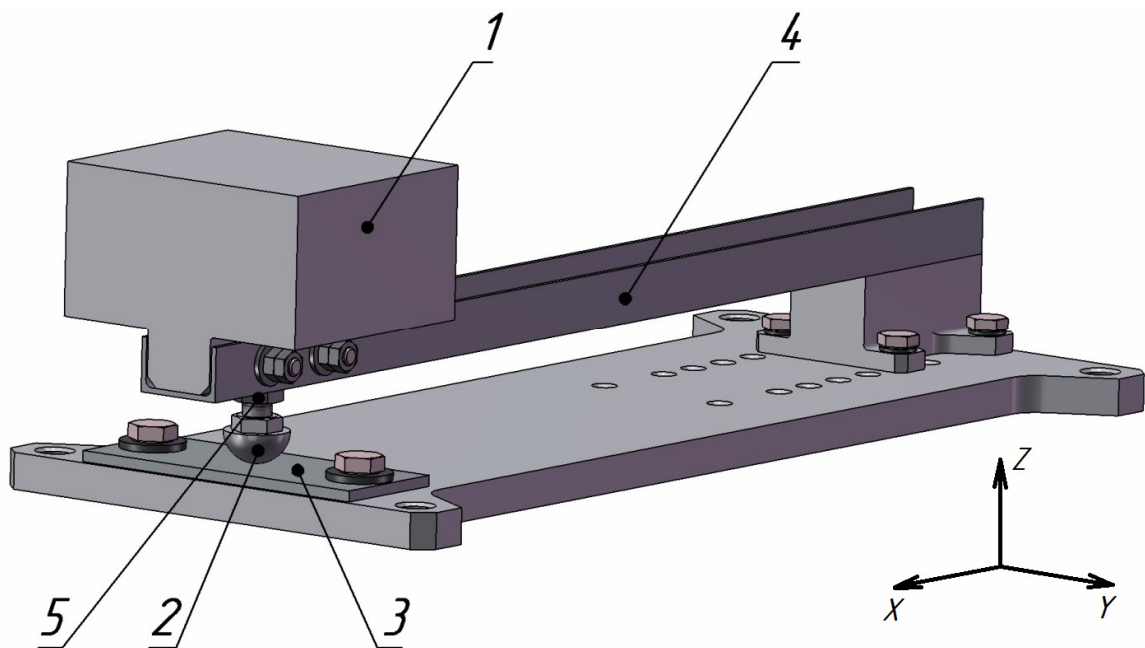


Рис. 9. Приспособление, моделирующее нагрузки на контактирующие поверхности элементов распора узлов раскрытия космических аппаратов при их транспортировке на целевые орбиты: 1 – имитатор нагрузки; 2 – упор; 3 – площадка; 4 – балка; 5 – контргайка; X, Y, Z – оси приложения вибрационных нагрузок

В основу конструкции приспособления положена модель типового узла раскрытия. Площадки из алюминиевого сплава Д16АТ со сформированным на их поверхности МДО-покрытием толщиной около 120 мкм устанавливались на место детали поз. 3 в приспособлении. Упоры из термообработанной стали 20Х13 с исследуемыми диаметрами сфер

устанавливались на место детали поз. 2. Методика проведения испытаний изложена в работе [8].

После проведения виброиспытаний зоны износа площадок были изучены при помощи металлографического микроскопа Keyence. Результаты исследования профилограмм зон износа площадок сведены в табл. 1.

Таблица 1.

### Результаты виброиспытаний

Диаметр сферы упора $d$ , мм	18	22	25	30
Максимальная глубина износа площадок $s$ , мкм	74,178	170,627	236,946	285,945

Аппроксимация полученных данных методом наименьших квадратов показала, что исследуемую зависимость лучше всего описывает полином третьей степени (см. рис. 10):

$$s = -0,1805d^3 + 12,4449d^2 - 263,9542d + 1876,9744$$

Построим график аппроксимирующей функции в районе интервала исследуемых диаметров сферы упора (рис. 11). На графике можно выделить зону роста максимальной глубины износа площадок II, а также зоны снижения максимальной глубины износа площадок I и III.

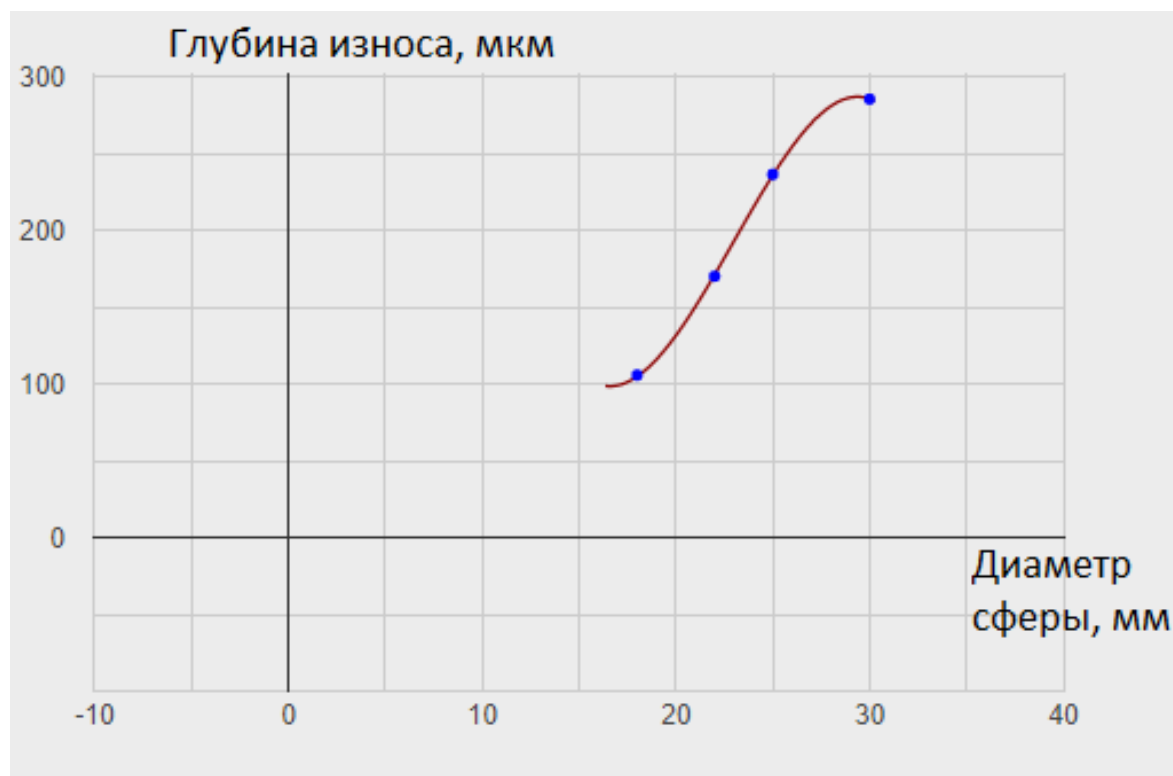


Рис. 10. Зависимость максимальной глубины износа площадок от диаметров сферы контактирующих упоров

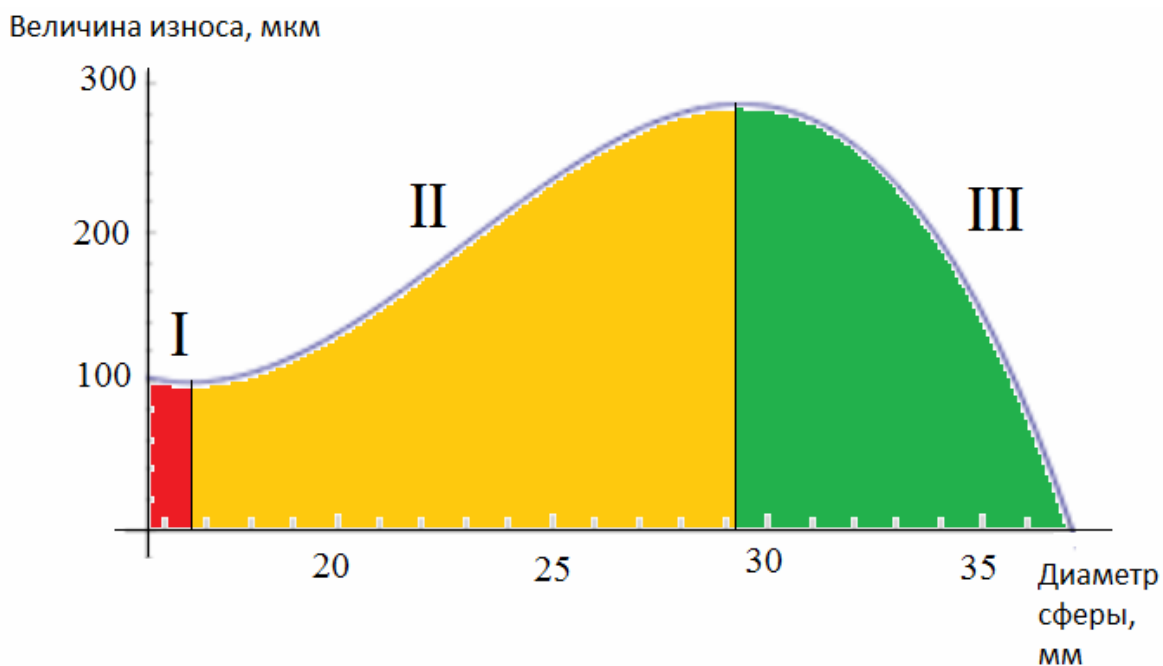


Рис. 11. График аппроксимирующей функции:  
 I и III – зоны снижения максимальной глубины износа площадок;  
 II – зона роста максимальной глубины износа площадок

Для определения экстремумов аппроксимирующей функции возьмём её первую производную и приравняем полученное выражению к нулю.

$$s' = -0,5415d^2 + 24,8898d - 263,9542$$

$$s' = 0$$

$$-0,5415d^2 + 24,8898d - 263,9542 = 0$$

$$D = 24,8898^2 - 4 \cdot (-0,5415) \cdot (-263,9542) = 47,7773$$

Дискриминант больше нуля, следовательно, квадратное уравнение имеет два действительных корня.

$$d_1 = \frac{-24,8898 + \sqrt{47,7773}}{2 \cdot (-0,5415)} = 16,5999$$

$$d_2 = \frac{-24,8898 - \sqrt{47,7773}}{2 \cdot (-0,5415)} = 29,3646$$

Рассматривая полученный график аппроксимирующей функции, можно отметить, что результат на исследуемом интервале получился во многом контринтуитивным и подтвердил целесообразность конструкции традиционно используемого диаметра сферы упоров для рассматриваемых контактирующих материалов упора и площадки. Снижение максимальной глубины износа площадки с ростом диаметра сферы упора в зонах I и III укладывается в модель снижения напряжений в материале с ростом площади соприкосновения контактирующих деталей, а вероятное объяснение роста максимальной глубины износа площадки с ростом диаметра сферы упора в зоне II требует отдельного исследования и будет приведено в последующих работах.

Из проведённых экспериментов можно заключить, что наиболее оптимальный диаметр сферы упора из термообработанной стали 20X13 для минимизации износа рассматриваемых в эксперименте площадок из алюминиевого сплава Д16АТ со сформированным на их поверхности МДО-покрытием толщиной около 120 мкм составляет 16,6 мм. Очевидно, что график исследуемой зависимости при диаметрах сферы упора более 34 мм примет асимптотический характер, стремясь к значению максимального износа площадки при контакте двух плоскостей. Использовать большие диаметры сферы упора крайне сложно конструктивно в связи с малыми габаритами элементов распора, а также с необходимостью выбирать зазоры одновременно в трёх направлениях перемещения узла раскрытия, соответствующих осям X, Y, Z на рис. 9.

### Список литературы

[1]. Фоторепортаж с АО «НПО Лавочкина», день на производстве разгонного блока «Фрегат». ГЛАВКОСМОС Пусковые Услуги: сайт. Режим доступа: <http://gklaunch.ru/news/fotoreportazh-s-ao-npo-lavochkina-den-na-proizvodstve-razgonnogo-bloka-fregat/> (дата обращения: 18.10.2021 г.).

[2]. «Цюэцяо» приступил к разворачиванию радиотелескопа NCLE. The Universe. Space. Tech: сайт. Режим доступа: <https://universemagazine.com/ru/czyueczyao-prystupyl-k-razvertyvanyuu-radyoteleskopa-ncle/> (дата обращения: 18.10.2021 г.).

[3]. *Штокал А.О., Рыков Е.В., Артемьев А.В., Шаталов В.К., Богачев В.А., Баженова О.П., Рожкова Т.В., Солдатова И.В., Демина В.Д.* Исследование площадок износа контактирующих поверхностей элементов распора узлов раскрытия космических аппаратов // Научноёмкие технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы региональной научно-технической конференции, 20–21 апреля 2021 г. — Калуга: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. — Т. 1. С. 45–52.

[4]. *Штокал А.О., Рыков Е.В., Добросовестнов К.Б., Говорун Т.А., Шаталов В.К., Богачёв В.А.* Пути повышения надёжности работы узлов раскрытия космических аппаратов с отложенным срабатыванием // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. — 2017. — № 4 (38). — С. 60–67.

[5]. *Рыков Е.В., Штокал А.О., Говорун Т.А., Шаталов В.К., Добросовестнов К.Б., Баженова О.П.* Исследование стойкости твёрдого смазочного покрытия на основе дисульфида молибдена к фреттинг-износу в условиях вибрационного нагружения // Научноёмкие технологии. — 2019. — Т. 20. — № 2. — С. 40–47.

[6]. *Merstallinger A., Sales M., Semerad E., Dunn B.D.* Assessment of Cold Welding between Separable Contact Surfaces due to Impact and Fretting under Vacuum (ESA STM-279 November 2009). — ESA Communication Production Office, 2009. — 57 p.

[7]. *Люшинский А.В.* Диффузионная сварка разнородных материалов: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. — М.: Академия, 2006. — 42 с.

[8]. *Штокал А.О., Рыков Е.В., Артемьев А.В., Добросовестнов К.Б., Говорун Т.А., Шаталов В.К., Богачёв В.А., Баженова О.П.* Методика проведения экспериментов по изучению стойкости МДО-покрытий к фреттинг-износу // Научное наследие и развитие идей К.Э. Циолковского. Материалы 54-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Часть 2. — Калуга: ИП Стрельцов И.А. (Изд-во «Эйдос»), 2019. — С. 271–276.

**Штокал Александр Олегович** – ведущий конструктор сектора конструирования наземных систем, канд. техн. наук Филиал АО "НПО Лавочкина" в г. Калуга. E-mail: [cuauthemoc1@yandex.ru](mailto:cuauthemoc1@yandex.ru)

**Рыков Евгений Валентинович** – начальник сектора конструирования наземных систем Филиал АО "НПО Лавочкина" в г. Калуга. E-mail: [rik@laspace.ru](mailto:rik@laspace.ru)

**Артемьев Артем Валентинович** – главный конструктор Филиал АО "НПО Лавочкина" в г. Калуга. E-mail: [arav@laspace.ru](mailto:arav@laspace.ru)

**Никишкин Евгений Александрович** – заместитель главного конструктора Филиал АО "НПО Лавочкина" в г. Калуга. E-mail: [Nikishkin.EA@laspace.ru](mailto:Nikishkin.EA@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](mailto:vkshatalov@yandex.ru)

**Богачёв Вячеслав Алексеевич** – начальник отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов АО "НПО Лавочкина". E-mail: [tribolab@laspace.ru](mailto:tribolab@laspace.ru)

**Баженова Ольга Петровна** – начальник сектора отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов АО "НПО Лавочкина". E-mail: [bazhenova\\_laspace@mail.ru](mailto:bazhenova_laspace@mail.ru)

**Рожкова Татьяна Владимировна** – начальник металлографической лаборатории АО "НПО Лавочкина". E-mail: [rojкова\\_t@list.ru](mailto:rojкова_t@list.ru)

**Демина Виктория Денисовна** – инженер-технолог 2 категории отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов АО "НПО Лавочкина". E-mail: [vishnj10100@mail.ru](mailto:vishnj10100@mail.ru)

**Солдатова Ирина Викторовна** – инженер-технолог 1 категории отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов, канд. техн. наук АО "НПО Лавочкина". E-mail: [inter-88@ya.ru](mailto:inter-88@ya.ru)

**Сергеев Даниил Владимирович** – инженер-конструктор 1 категории отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов, канд. техн. наук АО "НПО Лавочкина". E-mail: [sdv@laspace.ru](mailto:sdv@laspace.ru)

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОСРЕДСТВОМ МЕТИЗОВ

В машиностроительном производстве существует необходимость использования сборочных операций с помощью соединения посредством метизов таких как гайки, резьбовые шпильки, резьбовые втулки, болты, винты, анкера, саморезы, изоляционные гвозди, чашеобразные изоляционные гвозди и т.д. Преимущества подобного метода сборки заключаются в низкой стоимости, способности обеспечивать надёжное крепление деталей из разнородных материалов, в том числе подобные соединения обладают повышенной стойкостью в различных условиях эксплуатации и могут использоваться при очень высоких температурах [1, 2].

Перед реализацией непосредственно сборочных операций посредством метизов необходимо создать неразъёмное соединение метизов с соединяемыми деталями, которое, как правило, создается применением двух основных способов сварки – электродуговой и конденсаторный. Например, в энергетике чаще всего используется электродуговой способ, позволяющий производить приварку метизов диаметром до 25 мм.

Приварные метизы снабжены рядом вспомогательных элементов и участков для крепления к поверхности, которые в процессе приваривания плавятся, обеспечивая надёжную фиксацию на материале заготовки. На рис. 1 приведены примеры таких метизов [3].



Рис. 1. Приварные метизы:

*a* – резьбовая шпилька; *б* – гайка; *в* – болт

Наиболее распространенным и универсальным методом, применяемым для приварки крепежа является конденсаторная сварка. Электрический заряд, накопленный в конденсаторах сварочного аппарата, разряжается через тонкий наконечник на головке шпильки или втулки. Накопленная энергия расходуется на расплавление наконечника метиза и поверхностного слоя листового металла, в результате чего и создается надёжное неразъёмное соединение; используется для приварки крепежных элементов из омедненной стали, нержавеющей стали А2-50, алюминия и латуни диаметром от М2 до



M10 в листовую металл толщиной от 0,5мм. Основными преимуществами использования конденсаторной сварки являются: высокая скорость приварки; работа с тонкими металлами без их деформации; отсутствие сварных швов на готовых изделиях; прочность соединения; простота использования [3].

Контактно-дуговая сварка является методом приварки крепежа с помощью электрической дуги между метизом и поверхностью материала, возникшей при пропускании через крепеж и листовую заготовку сварочного тока. Для данного процесса используется сварочный аппарат с выпрямителем переменного тока, который и создает необходимый сварочный ток. Для контактно-дуговой сварки необходимо дополнительно использовать специальные керамические кольца, которые препятствуют растеканию расплавленного металла из области приварки, либо подавать в зону приварки инертный газ. За счет высоких энергетических параметров электрической дуги (в сравнении с энергией разряда при конденсаторной сварке) метод контактно-дуговой сварки позволяет приваривать крепеж с широким диапазоном размеров вплоть до M24 к листовым материалам толщиной от 2мм, область расплавленного металла может достигать 1мм в глубину. Получаемое соединение обладает повышенной надежностью и стойкостью к отрыву и провороту [4].

Импульсная контактно-дуговая сварка – упрощенная разновидность контактно-дуговой сварки. Электрическая дуга имеет меньшие энергетические характеристики за счет ограниченного времени действия импульса сварочного тока (1мсек – 1 сек). Глубина проплавленного слоя достигает лишь 0,5мм. Применяется данный метод для приварки втулок и шпилек диаметром M3-M12 к листовым металлам толщиной от 0,8мм. Использование керамических колец или подача инертного газа в область приварки является желательным, но необязательным условием. В промышленности нашел свое широкое распространение метод приварки вращающейся дугой, представляющий собой метод приварки втулок и других полых крепежных элементов (с внутренней резьбой), когда кромки материала заготовки и торцы привариваемого метиза предварительно разогреваются электрической дугой, вращающейся в магнитном поле, после чего механически сдавливаются (процесс осадки). Метод инновационный и достаточно дорогой, но имеет свои неоспоримые преимущества – пониженная температура сварки позволяет приваривать крепеж к сложным и тонким поверхностям, не деформируя их; позволяет приваривать стандартные гайки и резьбовые втулки [2]. К преимуществам электро-дуговой сварки следует отнести высокую скорость приварки; прочность соединения; простоту использования; широкий диапазон размеров крепежа.

Основным оборудованием для реализации сварочных операций по приварке метизов являются пресса контактной сварки, споттеры (ручные пистолеты для приварки метизов) и сварочные клещи, которые могут быть объединены, например, в одну сварочную автоматизированную ячейку на основе роботизированного комплекса [5].

Применение технологий приварки метизов позволяет сделать процессы фиксации крепежа высокопроизводительными и рентабельными и исключить трудоёмкие и затратные процессы при альтернативных процессах фиксации крепежа, таких как сверление рабочих деталей, получение заходных фасок резьбы с помощью зенковки, нарезание резьбы и т.д., что позволяет реализовать резьбовые сопряжения в машинах и конструкциях различного уровня сложности в машиностроении, приборостроении и судостроении и других отраслях народного хозяйства [6].

### Список литературы

[1]. Анурьев А.И. Справочник конструктора-машиностроителя. М.: «Машиностроение», 2001. Т. 1 – 920 с.

[2]. Детали машин: учебник / под ред. О.А. Ряховского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ, 2007. – 520 с.

[3]. Основные виды крепежа для листового металла [сайт]. URL: <http://www.metae.ru>

[4]. Жук Г.В. Оборудование и технология для дуговой приварки шпилек / Г.В. Жук, В.М. Лукьянец. – К.: «Колега» – 2007. – № 1. – С. 51–53.

[5]. Ефименко Н. Г. Технология и оборудование для приварки шипов в охлаждающих системах энергетических установок / Н. Г. Ефименко, Н. А. Король, С. Н. Барташ, П. А. Ситников. – «Научный вестник ДГМА» – 2016. – № 2. – С. 62–66.

[6]. Кныш В. В. Применение приварных шпилек для крепления полотна железнодорожных мостов / В. В. Кныш, С. А. Соловей, А. А. Гришанов, Г. О. Линник, М. Г. Мальгин // Автоматическая сварка. - 2015. - № 1. - С. 40-47.

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

**Орлик Антон Геннадьевич** - канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [a.g.orlik@inbox.ru](mailto:a.g.orlik@inbox.ru)

**Яшкин Константин Владимирович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [kostyayashkin@yandex.ru](mailto:kostyayashkin@yandex.ru)

**Гроссман Мария Фадеевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [ffomacha@yandex.ru](mailto:ffomacha@yandex.ru)

В.В. Калмыков, И.А. Хамадальнил Дави, М.Ф. Гроссман,  
А.С. Криницын

## ОЦЕНКА ПАРНОГО ЭФФЕКТА ВЛИЯНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ И ПОДАЧИ

Характер изменения шероховатости поверхности под воздействием режимов резания хорошо изучен. Результаты этих исследований представлены в работах [1–3] и многих других. В 70-е годы прошлого столетия Герман Хакен ввел в научный мир новый термин – синергетика [4]. Это позволило в разных областях науки значительно уточнить известные закономерности, а в некоторых случаях, сделать открытия. С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий в работе [5] указывают, что синергетика является способом, позволяющим по-новому взглянуть на известную проблему. Целью предлагаемой работы было установление парных эффектов взаимодействия технологических параметров на шероховатость поверхностей при точении цветных металлов.

В качестве объекта исследования был принят пруток из ЛС59 Ø50 мм. Точение на разных режимах осуществлялось на токарно-винторезном станке ИЖ250ИТП резцами из твердого сплава Т15К6. Исследования проводились методом полного факторного эксперимента. Значения уровней факторов представлен в таблице 1.

Таблица 1

### Уровни факторов

Факторы	Уровни			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
x1(S), мм/об	0,075	0,1125	0,15	0,0375
x2(V), м/мин	125	162,5	200	37,5

В качестве управляемых факторов были выбраны продольная подача S, скорость резания V. Откликом Y являлась шероховатость Ra, которая измерялась на профилометре-профилографе АБРИС-ПМ7. Каждый опыт в эксперименте повторялся три раза.

Таблица 3

### Результаты эксперимента

N	X1(S), мм/об	X2(V), м/мин	Y (Ra), мкм			$\bar{Y}$ , мкм	S <sup>2</sup>
			Y1	Y2	Y3		
1	+	+	2,312	2,363	2,416	2,363667	0,002704
2	-	+	1,273	1,266	1,289	1,276	0,000139
3	+	-	2,394	2,427	2,473	2,431333	0,001574
4	-	-	1,159	1,143	1,137	1,146333	0,000129

По результатам в каждом опыте рассчитывалась дисперсия и проводилась проверка гипотезы об однородности ряда дисперсий по G-критерию:

$$G^p = (S_{i \max}^2) / (\sum_{i=1}^N S_i^2) \cdot N \approx S_{i \max}^2$$

$$G^p = \frac{0,008764}{0,028679} = 0,3056$$

$$G_{p, f_1, f_2}^T = 0,3297$$

Так как  $G^p < G^T$ , то гипотезу об однородности ряда дисперсий была принята с вероятностью 99%.

Так как дисперсии однородны, была рассчитана дисперсия воспроизводимости:

$$S_Y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N}$$

$$S_Y^2 = \frac{0,028679}{16} = 0,00179243$$

Математическая модель шероховатости поверхности от скорости резания и подачи в нормализованном масштабе принимает вид:

$$Y = 1,80433325 + 0,59316675x_1 + 0,015500251x_2 - 0,04933325x_1x_2$$

После расчёта коэффициентов уравнения регрессии была проведена проверка гипотезы о их статистической значимости. Доверительный интервал:

$$\Delta b_i = t_{p, f_1} \cdot S_{b_i}$$

$$\Delta b_i = 2,9467 \cdot 0,006110834 = 0,0180068$$

Все коэффициенты уравнения регрессии, кроме  $b_2$  по абсолютной величине превышают доверительный интервал, следовательно, гипотеза о статистической значимости коэффициентов принимается с вероятностью 99%.

Т.к. коэффициент  $b_2$  статистически малозначим, то математическая модель примет вид:

$$Y = 1,80433325 + 0,59316675x_1 - 0,04933325x_1x_2$$

Анализ модели показывает определенную важность синергетического эффекта рассматриваемых факторов. Сила его влияния в 4 раза сильнее влияния скорости резания. Причем, модель показывает, что одновременное повышение скорости и подачи приведет к снижению шероховатости без уменьшения производительности.

Результаты работы могут быть использованы на производстве при решении задач оптимизации значений шероховатости при точении латуни. Повышение производительности процессов токарной обработки ограничивает рост шероховатости поверхности. Анализ модели показал, что повышение производительности за счет увеличения подачи не повлечет существенного роста шероховатости.

Дальнейшее исследование эффектов взаимодействия технологических факторов позволит наиболее эффективно решать задачи оптимизации на производстве.

### Список литературы

[1] Арзуманян А.М., Манукян О.С. Зависимость износа режущей пластины и шероховатости обработанной поверхности от режимов резания при тонко-лезвийной обработке цветных сплавов // Вестник Национального политехни-

ческого университета Армении. Механика, машиноведение, машиностроение. 2018. №. 2. С. 66-75.

[2] Шамарин Н.Н. и др. Повышение качества точения латуни Л63 путем формирования объемной ультрамелкозернистой структуры //InternationalWorkshop" Multiscale Biomechanicsand Tribology of Inorganicand Organic Systems"; Международная конференция" Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций"; VIII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 50-летию основания Института химии нефти" Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа": тезисы докладов. Томск, 2019. С. 78. 2019.

[3] Нгуен В. К., Ямников А. С. Методология оптимизации режимов резания // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. №. 1. С. 56-63.

[4] HakenH. Synergetics // PhysicsBulletin. 1977. Т. 28. №. 9. С. 412.

[5] Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г. Синергетика и прогнозы будущего. 1997.

**Калмыков Вадим Владимирович** – старший преподаватель КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: kalmykovvv@bmstu.ru

**Исмаил Ахмед Хамадальнил Дави** – студент. E-mail: ismaeilahmed1996@bk.ru

**Гроссман Мария Фадеевна** – студент. E-mail: ffomacha@yandex.ru

**Креницын Андрей Сергеевич** – студент. E-mail: andreew.krin@gmail.com

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Одним из наиболее важных условий развития конкурентоспособного производства является его постоянное совершенствование. Технологический аспект является основным из множества возможных путей совершенствования, так как именно он создает необходимые предпосылки для увеличения производительности, качества продукции, быстроты реакции ответа на запросы рынка и снижения себестоимости.

В зависимости от режимов резания различают три разновидности обработки: обычная ( $30 \dots 2000 \text{ мин}^{-1}$ ), высокоэффективная ( $1000 \dots 12000 \text{ мин}^{-1}$ ) и высокоскоростная ( $3000 \dots 40000 \text{ мин}^{-1}$ ) [1].

В настоящее время активно ведутся разработки в области сверхскоростного резания, характеристики скорости резания и подачи которого, в отличие от обычного в 5 – 10 раз выше, чем при обычной обработке. Отличительной чертой сверхскоростного резания является малое сечение среза, снимаемое с высокой скоростью, и большая минутная подача. А также она направлена на обработку и получение сложных форм поверхностей.

При обработке резанием на высоких скоростях начиная с некоторого критического значения, происходит снижение температуры, т. е. температурные условия работы инструмента становятся такими же как, при его работе в условиях обычно принимаемых скоростей резания. Это объясняется тем, что, начиная с критических значений скоростей резания и соответствующих им скоростей деформации характер протекания процесса стружкообразования качественно изменяется — отделение материала срезаемого слоя происходит в результате не пластического, а хрупкого разрушения [2].

Для проведения экспериментов в качестве энергии для осуществления сверхскоростного резания используют взрывчатые вещества, например, такие как: сжатый газ, искровой разряд, сжигаемые газы, магнитные поля высокой плотности, и обычные электрические двигатели. Описанные выше исследования сверхскоростного резания выполнены для задания движения резания метательной энергии взрывчатого вещества. При испытаниях получена зависимость силы резания от скорости, так называемые кривые Соломона (рис.1), а также зависимость температур от скорости резания [3]. С ростом скорости сила резания первоначально увеличивается, при этом ее величина значительно меньше величины силы резания при обычном резании, а при дальнейшем повышении скорости резания уменьшаются силы.

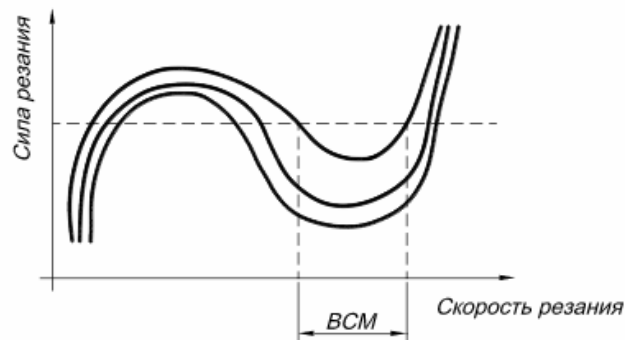


Рис.1. Зависимость силы от скорости резания (кривые Соломона)

Для того, чтобы реализовать условия высокоскоростной обработки оборудование, режущий инструмент и оснастка должны соответствовать высоким предъявляемым требованиям.

Оборудование должно соответствовать следующим требованиям:

- конструкция станка должна обеспечивать высокую жесткость,
- термическую стабильность при минимальных температурных деформациях,
- хорошие виброгасящие и демпфирующие характеристики,
- направляющие должны обеспечивать плавное безлюфтовое перемещение движущихся частей станков,
- система ЧПУ должна обеспечивать особоточное управление приводами станка.

Режущий инструмент должен соответствовать требованиям высокой теплостойкости, износостойкости, виброустойчивости, балансировке, прочности и т.д [4,5]. Во время проведения опытов хорошую стойкость показывают инструменты из быстро режущей стали.

Оснастка должна соответствовать высоким требованиям к балансировке. Так как биение инструмента сильно влияет на износ. При высокоскоростной обработке в качестве оснастки целесообразно использовать термозажим, либо, в крайнем случае, гидрозажим.

Так как основная масса тепла концентрируется в стружке, а та в свою очередь получается тоньше, чем толщина среза, высокоскоростное резание может проводиться как с использованием смазочно-охлаждающих технологических сред, так и без них (так называемая сухое резание). В качестве смазочно-охлаждающих технологических сред при высокоскоростном резании используются воздух и смазочно-охлаждающие жидкости [6,7].

Высокоскоростная обработка отличается следующими достоинствами:

- высокое качество обработанной поверхности (низкая шероховатость, уменьшенные остаточные напряжения);
- снижения сил резания, способствующие повышению точности обработки;
- снижение возможности возникновения вибраций;
- возможность обработки тонкостенных деталей;

- хорошее стружкоотделение;
- повышение стойкости инструмента.

Таким образом тенденция развития высокоскоростного резания будет широко освоена в ближайшее время. Все это создает техническую основу и ставит задачу широкой теоретической и экспериментальной разработки и практического внедрения этого качественно нового и высокопроизводительного метода резания труднообрабатываемых материалов.

### Список литературы

- [1] <https://extxe.com/2671/vysokoskorostnaja-obrabotka-rezaniem/> (29.10.2021)
- [2] <http://www.4ne.ru/stati/rezka-metallov/sverxskorostnoe-rezanie.html>  
(1.11.2021)
- [3] <https://docplayer.com/36939818-Vysokoskorostnaya-i-vysokoproizvoditelnaya-obrabotka-rezhimy-harakteristika-stankov-instrument.html> (6.11.2021)
- [4] *Анисимов Р.В.* Современные технологии и оборудование для зубодолбления колес с внутренними зубьями, 2010.с.4-8
- [5] *Суслов А.Г.* Технология машиностроения/ Суслов А.Г.- М.: Машиностроение, 2007.-230с.
- [6] *Кожевников Д.В.* Режущий инструмент/ Кожевников Д.В., Гречишников В.Л., Кирсанов С.В., Кокарев В.И., Схиртладзе А.Г.-М.: Машиностроение, 2005.-528 с.
- [7] *Соколенко В.Г.* Резание металлов и режущие инструменты/ Соколенко В.Г., Рыжкин А.А.- Инфа-М, 2011.-416с.

**Денисова Дарья Сергеевна** – студентка. E-mail: denisovadaria0206@yandex.ru

**Мыхонава Диана Шаяхметовна** – студентка. E-mail: dianamykhanova@yandex.ru



## **СЕКЦИЯ 2.**

### **ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

## ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В настоящее время перспективным способом изготовления изделий из алюминиевых сплавов является сварка трением с перемешиванием. Этот способ является альтернативной широко используемой при изготовлении алюминиевых конструкций аргоно-дуговой сварки [1]. К основным достоинствам способа сварки трением с перемешиванием, которые способствуют все более широкому его применению в машиностроении, можно отнести следующие:

- высокие прочностные характеристики сварного соединения. Прочность сварного соединения на статическое растяжение, как правило, составляет 90...95% от прочности основного металла и может даже достигать прочности основного металла [2];

- отсутствие дефектов, характерных для дуговых способов сварки, т.к. металл в зоне сварки нагревается до температуры ниже температуры плавления металла;

- вследствие незначительного термического влияние на основной металл, сварное изделие характеризуется незначительными остаточными напряжениями и деформациями [3];

- экологичность процесса.

На выбор параметров режима сварки трением с перемешиванием влияние оказывает рабочая форма инструмента [4]. Поэтому в настоящее время существует несколько десятков форм инструмента с разной геометрией: цилиндрическая и коническая форма пина; наличие резьбы (одно и многозаходной) и насечек на поверхности пина, заплечике инструмента; форма заплечика с вогнутой и выпуклой поверхностью и т.д.

С точки зрения трудоемкости изготовления инструмента наиболее простой формой пина является цилиндрическая и коническая. В связи с этим были выбраны данные формы пина инструмента для проведения экспериментальных исследований, чтобы выявить влияние формы инструмента на выбор параметров режима сварки, обеспечивающих получения сварного соединения без дефектов сплошности.

Для проведения экспериментальных исследований по получению стыковых швов сваркой трением с перемешиванием алюминиевого сплава АМг5 толщиной 5 мм были выбраны следующие диапазоны параметров режима: частота вращения инструмента - 450-1100 об/мин, продольная подача инструмента (скорость сварки) - 31,5-80 мм/мин, глубина внедрения заплечика инструмента в деталь - 0,05-0,3 мм. Угол наклона инструмента не изменялся и был принят 2°. Пин инструмента имел цилиндрическую и коническую форму с углом конуса 20°. Фотографии пина представлены на рис.1

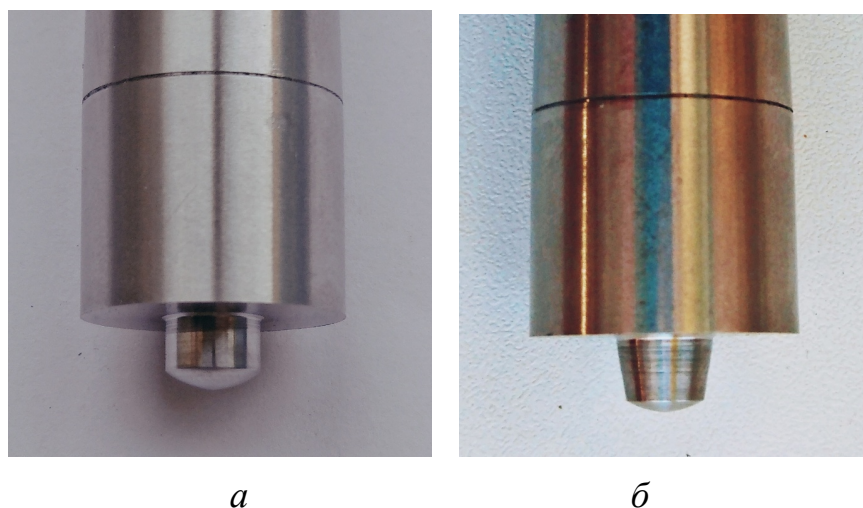


Рис.1 Форма пина инструмента для сварки трением с перемешиванием:  
*а* – цилиндрическая, *б* – коническая (угол конуса 20°)

После проведенного эксперимента были получены макрошлифы поперечных сечений сварных соединений. Примеры макрошлифов сварных соединений, полученных при одинаковых режимах сварки, но с разной формой пина (цилиндрическая и коническая с углом конуса 20°) представлены на рис.2.

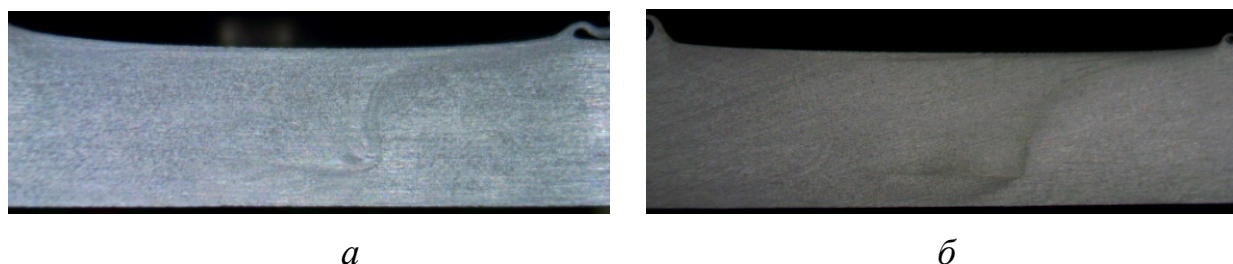


Рис.2. Макрошлифы поперечных сечений сварных швов, полученных с помощью инструмента с цилиндрической (*а*) и конической (*б*) формой пина: частота вращения инструмента - 710 об/мин, продольная подача инструмента (скорость сварки) - 50 мм/мин

Анализ проведенных экспериментальных исследований при разной форме пина инструмента позволил получить диапазоны параметров режима сварки, при которых формируется сварное соединение без дефектов сплошности: частота вращения инструмента - 450-710 об/мин, продольная подача инструмента (скорость сварки) - 31,5-50 мм/мин, глубина внедрения заплечика инструмента в деталь - 0,05-0,3 мм. При этом изменение формы пина с цилиндрической на коническую не повлияло на получение диапазонов параметров режима, обеспечивающих получение сварных соединений без дефектов сплошности, что вероятно вызвано относительно простой геометрической формой рабочей части инструмента, практически не влияющей на условия перемешивания материала в зоне сварки и формирования сварного соединения.

### Список литературы

[1]. *Бахматов П.В., Мелкоступов К.А., Дебеляк А.А.* Сварка трением с перемешиванием высокопрочных алюминиевых сплавов // Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. — 2009. — «Современные техника и технологии». — С.15—16.

[2]. *Людмирский Ю.Г., Котлышев Р.Р.* Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов в строительстве// Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. — 2010. — №3(19). — С.15—22.

[3]. *Карманов В.В., Каменева А.Л., Карманов В.В.* Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов: сущность и специфические особенности процесса, особенности структуры сварного шва// Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. — 2012. — №32. — С.67—80.

[4]. *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.

**Медведев Дмитрий Михайлович** – студент МК2-31М, 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

**Антохин Михаил Сергеевич** – студент МК2-11М, магистрант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: antokhin.mc@yandex.ru

## ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ АНТИОБРАЗИВНЫХ ПОКРЫТИЙ

Наплавка и поверхностное модифицирование являются универсальными и экономичными методами повышения ресурса работы подвижных сопряжений машин.

Разработка технологии получения износостойких наплавленных покрытий с наноструктурой наплавленного металла представляют собой новую и актуальную задачу. Детальный анализ свойств наплавочных материалов, их практическое тестирование, разработка технологии нанесения износостойких покрытий, оценка износостойкости модифицированных слоев позволяют обеспечить устойчивость и воспроизводимость эксплуатационных свойств наплавленных деталей.

Износостойкие наплавленные слои применяют и в условиях комбинированного абразивного и эрозионного износа оборудования, такого как шнеки для очистных сооружений, станки для глубокого бурения, землеройные машины, размельчающие установки, мельницы, грязевые насосы, транспортирующие установки, а также машины и установки сельскохозяйственной, пищевой, целлюлозной, химической промышленности.

Сегодня для защиты от абразивного изнашивания и коррозионных повреждений применяют композиционные покрытия из класса так называемых «твердых металлов», состоящие из таких дефицитных компонентов, как карбиды тугоплавких металлов (в основном WC в количестве до 97 вес%) и связки на основе кобальтовых сплавов. Качество связи между карбидами и матрицей обеспечивается благодаря высокой растворимости и смачиваемости кобальтом частиц WC. Сплавы на железной основе в качестве матрицы не применяются, так как из-за плохой смачиваемости не способны связывать такие большие фракции WC.

Анализ литературных данных и полученный к настоящему времени экспериментальный материал показывают, что альтернативой износостойким покрытиям из «твердых металлов» являются покрытия на основе металлов группы железа, произведенные по нанотехнологиям. Здесь следует назвать такие варианты как:

1. нанесение готовых наноразмерных порошков напылением при ограничениях по температурам максимального нагрева и длительностям пребывания порошков в высокотемпературном интервале;
2. напыление покрытий с использованием жидких или газовых смесей из компонентов, образующих тугоплавкие наночастицы непосредственно в потоке;
3. нанесение аморфных покрытий с последующей термообработкой на расстеклование для образования наноразмерных высокопрочных кристаллических фаз;

4. введение в присадочный материал наноразмерных тугоплавких фаз, являющихся инакулляторами при кристаллизации износостойких покрытий.

Таким образом, из обзора следует, что для получения композиционных покрытий на железной основе с высокой износостойкостью необходимо выполнение следующих условий:

1. Армирующие фазы, определяющие стойкость против абразивного изнашивания, должны иметь максимальную твердость;

2. Размер армирующих фаз должен быть согласован с размером частиц абразива;

3. Матрица композиционных покрытий должна быть пластичной и одновременно высокопрочной, что достигается методами наноструктурирования.

4. Для обеспечения высокой адгезии по межфазным границам матрица должна иметь минимальное несоответствие решёток с армирующим наполнителем (минимальный «мисфит»). Следовательно, предпочтительны методы создания формирования композиционной структуры покрытий *insitu*, когда наполнитель формируется в процессе нанесения покрытия.

5. Для реализации в покрытии свойств твердых фаз, обеспечивающих сопротивление абразии, прочность по границе раздела покрытие/подложка должна быть не ниже прочности материала подложки, что достигается методами наплавки покрытий с эпитаксией при кристаллизации.

6. Стоимость покрытий и способов их нанесения должна быть снижена по сравнению со стоимостью покрытий класса «твёрдых металлов», то есть стратегия в создании покрытий должна быть нацелена на повышения показателя «свойства/цена».

#### Список литературы:

[1] *Branagan D.J.* «Formation of Nanoscale Composite Coating Via HVOF and Wire-Arc Spraying» ITSC 2005, Basel, Switzerland, Mai 2-4, 2005, pp. 539-544.

[2] *Branagan D.J.* «Dewitrified Nanocomposite Steel Powder», Powder Metallurgy Alloys and Particulate Materials for Industrial Application, St. Louis, MO, 2000, ed, By David E Alman and Joseph W. Newkirk, TMS, pp. 111-122.

**Пономарев Олег Игоревич** – студент МК2-71Б. E-mail: o-o-p70@mail.ru

**Орлик Антон Геннадьевич** – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: a.g.orlik@yandex.ru

**Орлик Геннадий Владимирович** – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: G.V.Orlik@yandex.ru

## **СЕКЦИЯ 3.**

# **ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА**

## ПОЛУЧЕНИЕ МДП ТРАНЗИСТОРОВ СО ВСТРОЕННЫМ И ИНДУЦИРОВАННЫМ КАНАЛОМ В ОДНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

При проектировании интегральных микросхем некоторых серий зачастую необходимо изготавливать транзисторы разных видов в одном кристалле. Так, например, в одном кристалле могут присутствовать как МДП транзисторы с индуцированным, так и с встроенным каналом.

Рассмотрим технологический процесс получения таких транзисторов, который включает в себя 13 фотолитографий.

1) За основу берется пластина со структурой КСДИ, которая имеет вид, представленный на рис. 1.

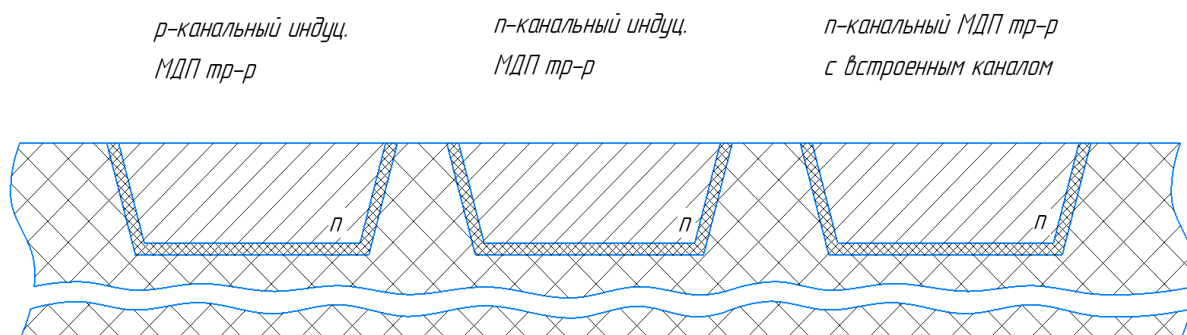


Рис.1. Исходная пластина.

2) Первая фотолитография необходима, чтобы загнать малую дозу кармана во все n-канальные транзисторы.

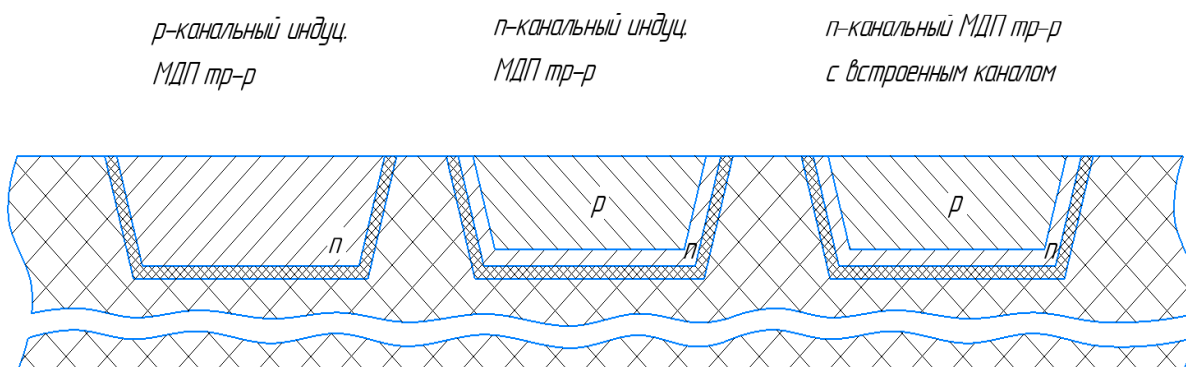


Рис.2. Пластина с p-карманами.

3) Во второй фотолитографии проводят еще загонку кармана в те места, где должен быть индуцированный канал в n-канальных транзисторах, при этом, во время разгонки на всей поверхности пластины образуется слой окисла.



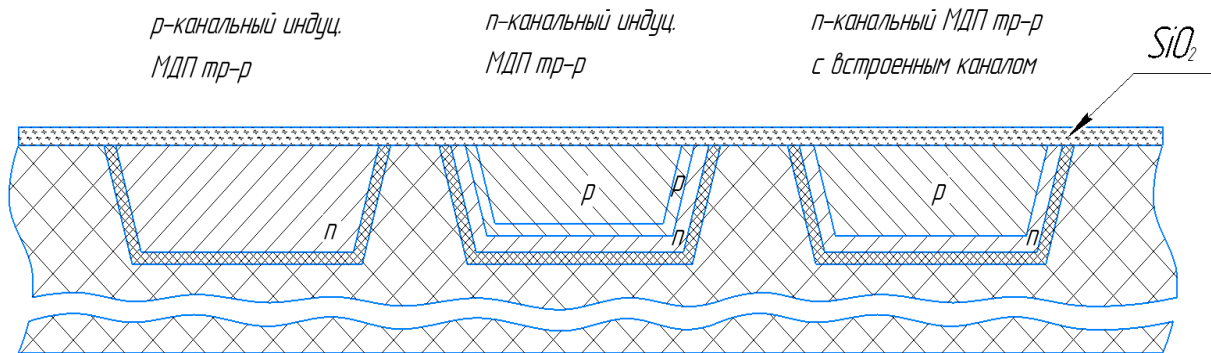


Рис.3. Карман p-типа для индуцированного транзистора

4) Третья фотолитография проводится по оксиду кремния, для создания активных областей, в дальнейшем там будут образовываться сток/истоковые области транзисторов.

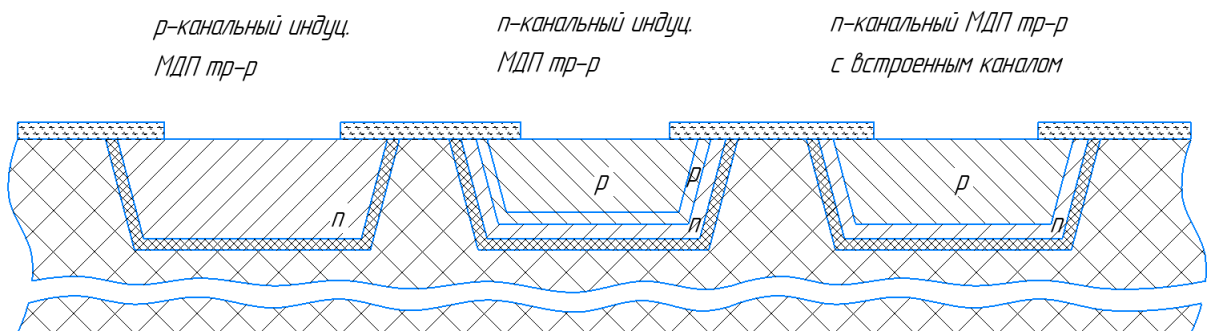


Рис.4. Создание активных областей

5) При четвёртой фотолитографии образуются p – сток/истоки

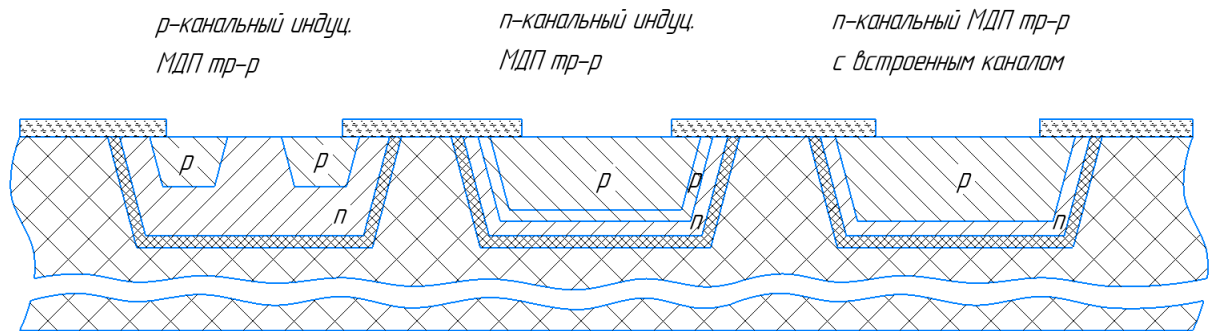


Рис.5. Сток/истоковые области у p-канального МДП транзистора.

6) 5-тая фотолитография необходима для создания сток/истоковых областей у n-канальных транзисторов.

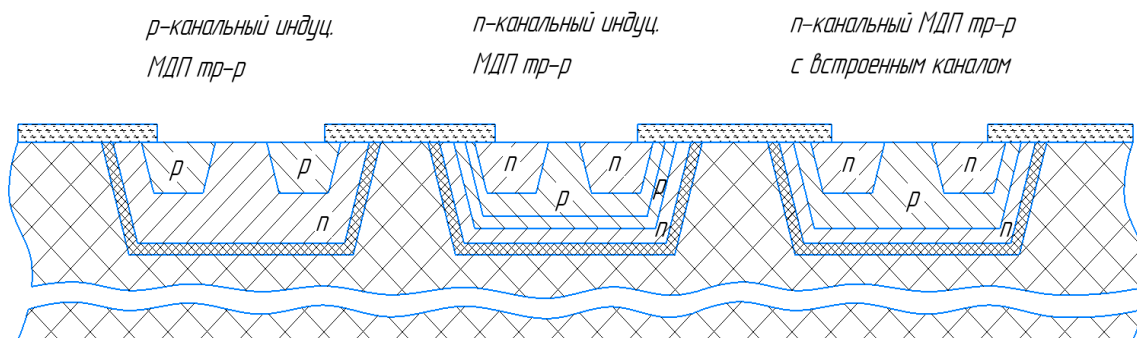


Рис.6. Сток/истоковые области у n-канального МДП транзистора.

7) P + диффузионные области образуются при 6-той фотолитографии для обеспечения хорошего омического контакта и уменьшения сопротивления сток/истоковых областей.

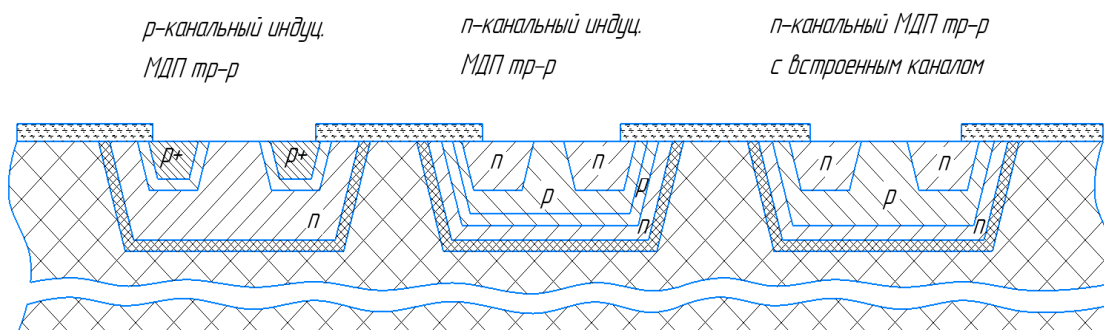


Рис.7. Области к контакту стоку и истоку p-канального транзистора, противоионверсионный слой.

8) N + диффузионные области образуются при 7-мой фотолитографии для аналогичных целей как и при фотолитографии выше.

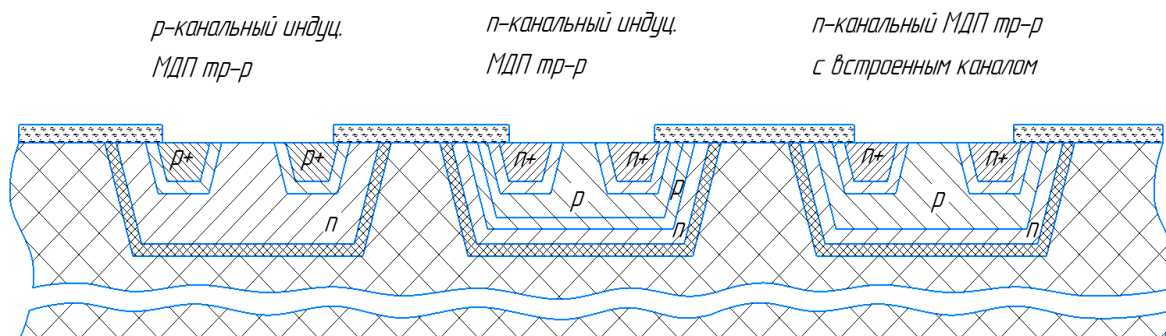


Рис.8. Области к контакту стоку и истоку n-канального транзистора, противоионверсионный слой.

9) Восьмая фотолитография нужна для создания тонкого подзатворного диэлектрика[2]. На транзисторе с встроенным каналом он не заходит на сток-истоковые области.

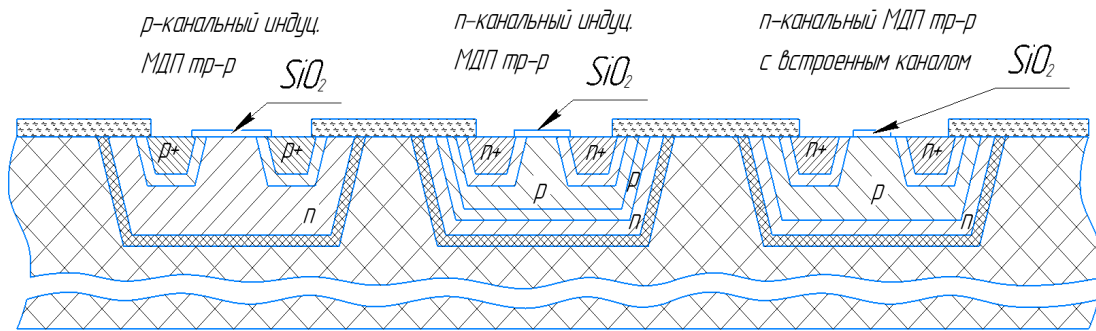


Рис.9 Получение подзатворного диэлектрика

10) Следующим этапом осаждается поликремний, после чего по нему проводится девятая фотолитография и образуется поликремневый затвор.

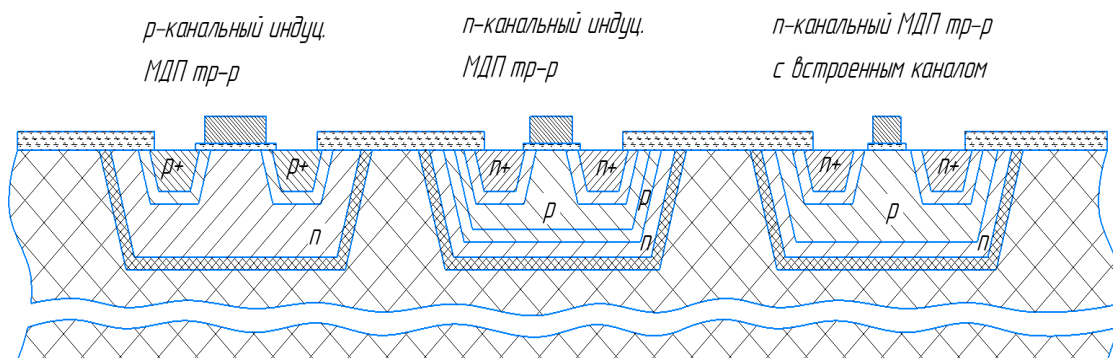


Рис.10. Образование затвора

11) Далее при 10-той фотолитографии поверх поликремния в транзисторе со встроенным каналом осаждаем «ушки», при этом поликремний служит как маска

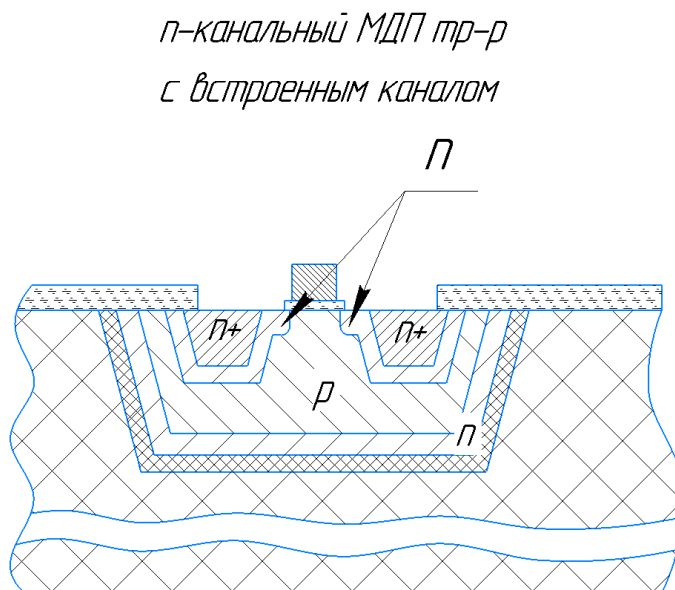


Рис.11. Полученный результат после 10-той фотолитографии.

12) Следующим этапом идет создание контактных окон к областям, путем фотолитографии 11 по межслойной изоляции.

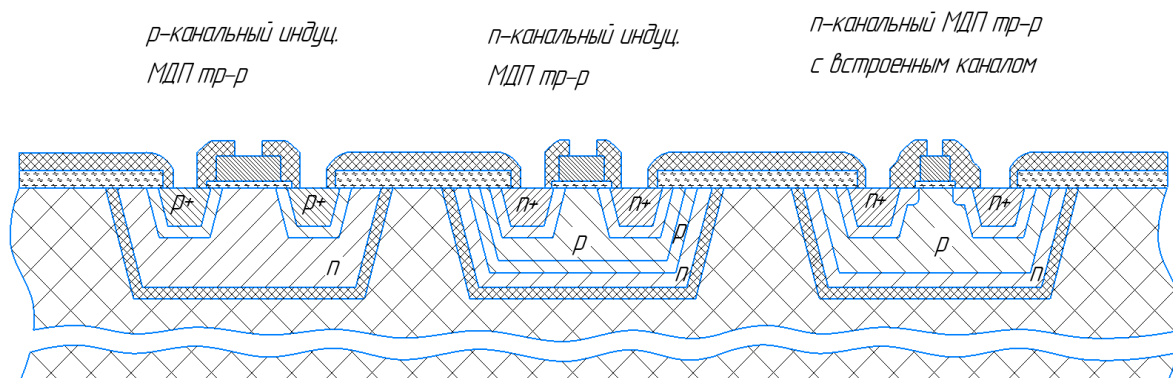


Рис.12. Вскрытые контактные окна под металлизацию

13) 12-той фотолитографией создаются контактные площадки и проводники.

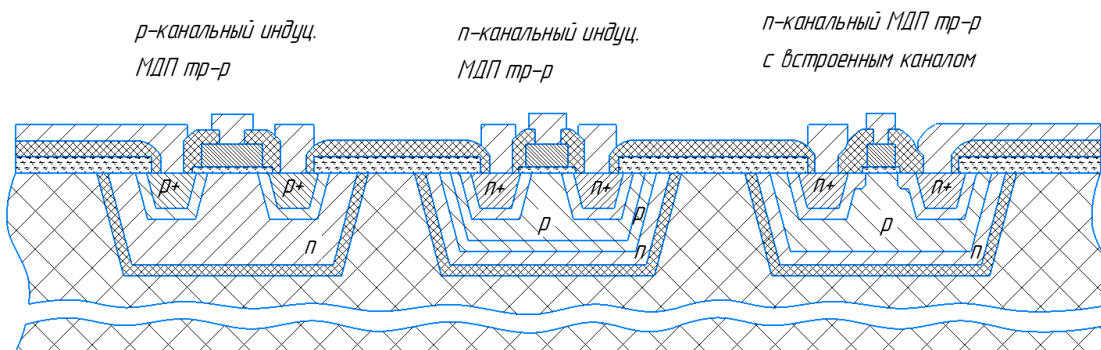


Рис.13. Готовая металлизация

14) На завершающем этапе весь кристалл покрывается защитным слоем, по которому делают завершающую 13-тую фотолитографию. Она предназначена для создания контактных окон для разварки кристалла в корпус.

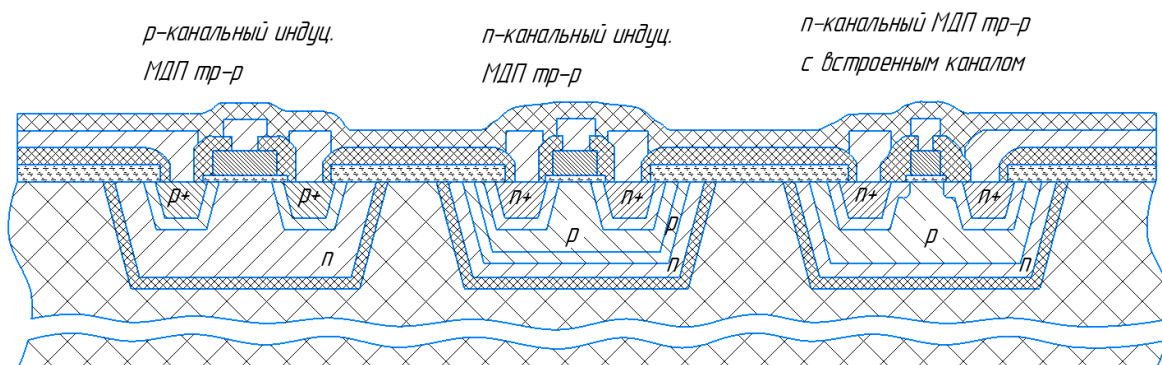


Рис. 14. Готовая структура кристалла

При данной конструкции, в данной ситуации образуется постоянный транзистор с индуцированным каналом, обладающий характеристиками сходными с транзистором со встроенным каналом.

### Список литературы

[1] *Гриценко В. А., Тысченко И. Е., Попов В. П., Перевалов Т. В.* Диэлектрики в нанoeлектронике // Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 258 с.

[2] *Перевалов Т. В., Гриценко В.А.* Применение и электронная структура диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью // Успехи Физических Наук. 2010. Том 180, № 6. С. 587–603.

[3] *Тогонский Л.А.* Проектирование интегральных микросхем и микропроцессоров: Учебное пособие. В 3-х разделах. — Томск: ТУСУР, — Раздел 1.— 254 с.

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

**Бурухин Максим Константинович** (Burukhin M.K.) – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана;

**Двухшерстнов Алексей Сергеевич** (Dvukhsherstnov A.S.) – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана; dvukhsherstnovas@student.bmstu.ru

**Научный руководитель:** д-р техн. наук, профессор **Андреев Владимир Викторович**.

## СХЕМА УСИЛЕНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

В настоящее время для бесконтактного измерения температуры применяются два типа датчиков: термопары и пироприемники. Пироприемник представляет собой кристалл пироэлектрика со схемой предварительной обработки, которая включает в себя параллельный пироэлектрику резистор и полевой транзистор, управляемый ЭДС пироэлектрика. Такой датчик требует применения механического модулятора для определения абсолютного значения температуры и зачастую, в зависимости от материала пироэлектрика, имеет крайне узкий диапазон рабочих температур и температур хранения[1].

Термопара представляет собой несколько последовательно соединенных термопар, сформированных на тонкой мембране, направленных “теплыми” контактами на исследуемую поверхность, а “холодными” – на корпус прибора.

Такие датчики имеют неплохую, хотя и уступающую пироприемникам, обнаружительную способность и гораздо меньшую, в сравнении с пироприемниками временную постоянную, что делает их применение более предпочтительным. Существует два основных типа термопар, классифицируемых по технологии изготовления: тонкопленочные и кремниевые. Тонкопленочные термопары обладают более высокими показателями чувствительности, меньшим уровнем шумов, однако обладают меньшим быстродействием, а также более узким температурным диапазоном. Типовая структура термопары приведена на рис. 1.

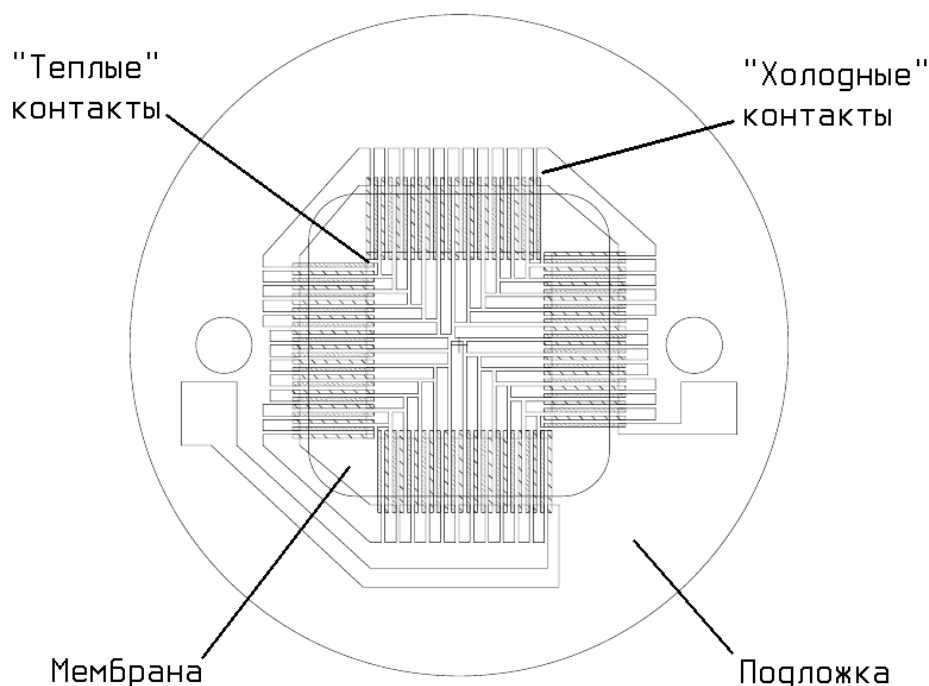


Рис. 1. Структура бесконтактной термопары

Проводились эксперименты с использованием опытных образцов термопары, характеристики которых приведены в таблице 1. Пара термопар, подключенная к дифференциальному усилителю с коэффициентом усиления 5000 обеспечивала на высоте около 15м контраст между направлениями надир-зенит 200мВ в ясный зимний день[2].

Таблица 1

**Параметры опытного образца**

Параметр	Ед. изм.	Образец ТП
Размер чувствительного элемента	мм <sup>2</sup>	0,3721
Встроенный фильтр	мкМ	8..14
Чувствительность	В/Вт	56..58
Сопротивление	кОм	84..86
Температурный дрейф сопротивления	%/К	0,02
Шум	нВ/√Гц	35..38
Временная постоянная	мс	5..6
Апертура	°	120
Тип корпуса		КТ-1

Термопара генерирует ЭДС, пропорциональную разности между собственной температурой термопары и средней температурой объектов, находящихся в поле зрения термопары. Таким образом, схема усиления, помимо усиления собственно разности ЭДС термопар, должна эффективно подавлять постоянную составляющую, образованную собственной температурой термопары, которая может меняться в широких пределах [3]. Кроме того, термопары обладают довольно высоким внутренним сопротивлением, что также следует учитывать при разработке схемы усиления. Отсюда вытекают основные требования к схеме:

- а) Высокий коэффициент усиления.
- б) Высокий коэффициент подавления синфазного сигнала.
- в) Максимальное входное сопротивление.
- г) Минимальное смещение и температурный дрейф нуля.
- д) Минимальный уровень шумов.

Схема обычного дифференциального усилителя не подходит по той причине, что импедансы входов дифференциального усилителя, во-первых, небольшие, во-вторых не равны между собой. По этой причине необходимо использовать схему инструментального усилителя, как лишенную этих недостатков и обеспечивающую лучший коэффициент подавления синфазного сигнала. Ввиду того, что отечественная промышленность не производит таких усилителей в интегральном исполнении, в том случае, если рассматривать вариант реализации схемы на отечественной элементной базе, целесообразно применить схему, приведенную на рис. 2.

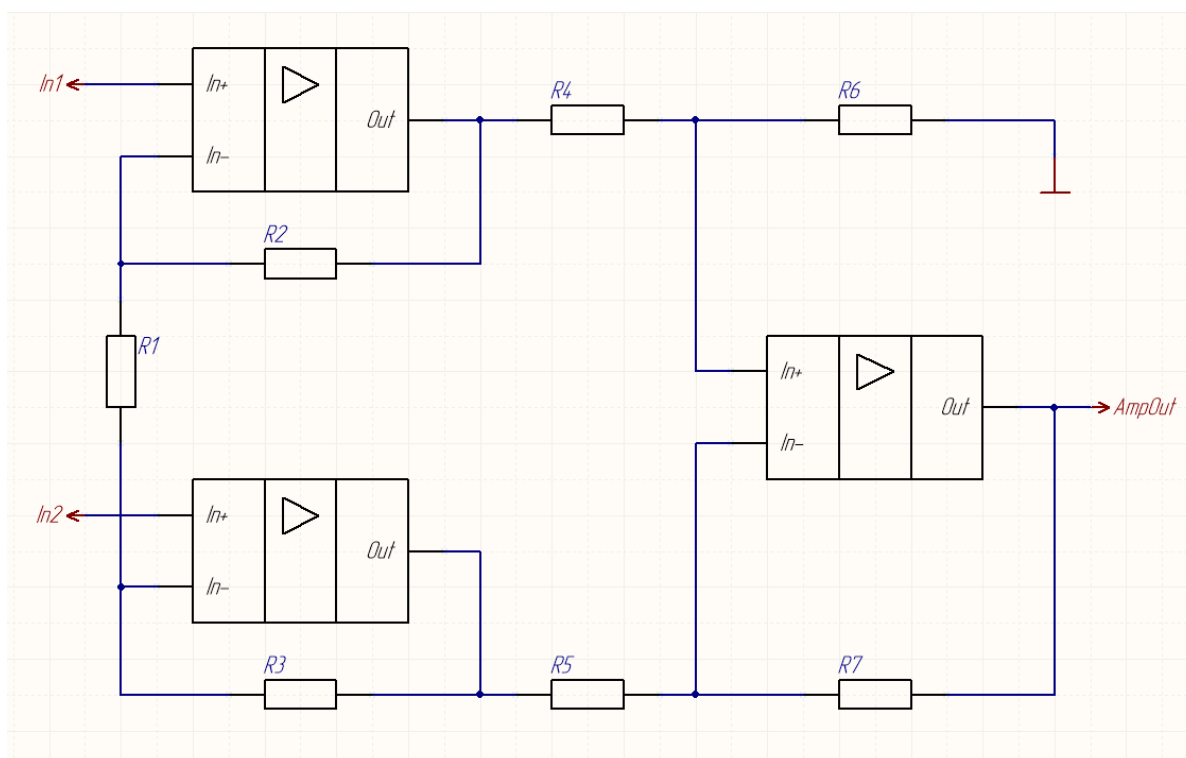


Рис.2. Принципиальная схема инструментального усилителя

Однако такая схема требует применения высокоточных резисторов для обеспечения соотношений:

$$R_2 = R_3, \quad \frac{R_4}{R_6} = \frac{R_5}{R_7}. \quad (1)$$

Поскольку к схеме предъявляются жесткие требования по шумам, необходимо как можно сильнее ограничивать полосу пропускания усилителя, доходя до значений, образованных постоянной времени термопары. Для этого необходимо либо вводить фильтрацию прямо в схеме на отдельных операционных усилителях, либо вводить дополнительный каскад сразу после интегрального инструментального усилителя.

Экспериментально было установлено, что чувствительность использованных термопар составляет 11...12 мкВ/°С. Поэтому схема усиления должна обеспечивать очень большой коэффициент усиления – порядка 60..80 дБ. При таком коэффициенте усиления будет необходимо подавлять систематическую ошибку, вызванную смещением нуля применяемых операционных усилителей.

Это возможно двумя способами: за счет использования выводов балансировки операционного усилителя в последнем каскаде, что вызывает ряд проблем, связанных с температурным дрейфом схемы, либо за счет изменения опорного напряжения схемы сравнения. В случае использования цифровой схемы сравнения возможно также компенсировать температурный дрейф нуля (такую возможность предоставляет, например, микроконтроллер 1986ВЕ9х, имея в составе периферии, помимо АЦП, температурный датчик)[4].



### Список литературы

- [1] Р. Хадсон. Инфракрасные системы. Москва, изд. "Мир", 1972
- [2] Gregory Egan and Bernard Taylor. Characterisation of infrared sensors for absolute unmanned aerial vehicle attitude determination. Technical report, Monash University, Melbourne, Australia, 2007.
- [3] Jonathan Rogers and Mark Costello. A low-cost orientation estimator for smart projectiles using magnetometers and thermopiles. Journal of The Institute of Navigation, 59(1):9-24, 2012.
- [4] Jonathan Rogers, Mark Costello, and David Hepner. Roll orientation estimator for smart projectiles using thermopile sensors, Journal of Guidance, and Dynamics, 34(3): 688-697, 2011.

**Кондратов Даниил Алексеевич** – студент АО Восход – КРЛЗ. E-mail: ivansusanin295@gmail.com

**Андреев Владимир Викторович** – преподаватель, доктор технических наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev-eic@yandex.ru

## **СЕКЦИЯ 4.**

### **ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ГИДРОМАШИНЫ**

## АКТУАЛЬНОСТЬ ПАРАДОКСА ГРЕЯ

Наука гидробионика – довольно молодая наука. Считается, что эта отрасль науки родилась только в 1960 году, хотя исследование рыб, птиц, дельфинов и раньше привлекали ученых, о чем может говорить тот факт, что исследование парадокса Грея началось за 25 лет до этой даты. Он был обнаружен в 1935 году, когда английский ученый биолог Джеймс Грей решил измерить скорость взрослого дельфина [1]. К сожалению, Грей в то время не располагал возможностью определить скорость самостоятельно, поэтому ему пришлось руководствоваться только тем, что говорили ему рыбаки и моряки дальнего плавания. Спрашивая моряков, он часто слышал о том, что дельфины двигаются со скоростью движения рыболовного судна, но это означало, что средняя скорость дельфина составляет 10-12 м/с (около 40 км/ч), во что не сильно поверил Грей. Поэтому, через несколько месяцев он нашел способ самому выйти в море, и данные подтвердились. Грей подумал, что это ошибка. Но ученые Эванс и Пауэлл, проводя похожие наблюдения, также замерили скорость 11,4 м/с. Исходя из данных, Грей в 1936 году подсчитал, какая сила сопротивления действует на жесткую гидродинамическую модель дельфина. Получилось, что для преодоления этого сопротивления, мышцы дельфина должны развивать в семь раз большую силу, чем мышцы наземных млекопитающих. Это наблюдение получило название парадокс Грея. Для решения данного парадокса Грей предположил, что жидкость обтекает тело дельфина турбулентно. Но ведь это противоречит законам гидродинамики, потому что при турбулентном обтекании сила сопротивления намного выше, чем при ламинарном обтекании. (Ламинарное обтекание - когда слои воды движутся параллельно, без завихрений.) Тогда Грей высказал предположение, что дельфины каким-то образом могут гасить завихрения, обеспечивая ламинарное обтекание тела потоком воды, что приводит к существенному снижению сопротивления.

Другой ученый гидродинамик Макс Крамер, проводя свой эксперимент, решил, что все дело в коже дельфина. Для этого он спроектировал модель, которая по размерам напоминала дельфина, и прогнал ее через участок с водой, но эксперимент показал сопротивление воды почти в 10 раз выше, чем при движении дельфина. Обдумывая данные, Крамер пришел к выводу, что кожа дельфина каким-то образом гасит турбулентные завихрения за счет своей упругости. Решив проверить данное предположение, Крамер создал материал по структуре напоминающий кожу дельфина. Он назвал его «Ламинфло». Проводимый опыт с этим материалом действительно показал значимое снижение сопротивления потока жидкости [2].

Советские ученые в тоже время, так же считали что все дело в коже. Но их предположение строилось на том, что кожа дельфина, не гасит сопротивление потока жидкости, а динамически подстраивается под поток, из-за сосков

на коже, которые увеличивают или уменьшают просвет кровеносных сосудов на различных скоростях движения, обладает переменной упругостью, что позволяет дельфину оставаться в ламинарном потоке жидкости [3].

Далее обсуждение парадокса Грея продолжалось, но до 2014 года никаких новых гипотез не выдвигалось. В 2014 году группа физиков теоретиков решила оспорить главный тезис, на котором в основном и держался парадокс Грея. С помощью математических расчетов они пришли к выводу, что парадокс Грея неверен. По их расчетам для объектов, движущихся с помощью волнообразных изгибов тела, сила мышц, приводящих его в движение, в действительности может быть меньше действующей на тело силы сопротивления, и никакого парадокса в этом не будет.

Через год ученые из США, разработали метод для измерения скорости и направления движения частиц жидкости. Для этого бассейн наполнили довольно мелкими пузырьками воздуха и запускали дельфина внутрь. Движущегося сквозь пузырьки дельфина снимала высокоскоростная видеокамера, а затем перемещения каждого пузырька на видео отслеживала от кадра к кадру специальная программа. Измерение скорости и направления движения пузырьков позволило рассчитать силу, которую развивает хвост дельфина в движении. Эксперимент показал, что хвост дельфина развивает силу примерно в 9-10 раз больше, чем предполагал Грей. По мнению ученых, дельфину этого достаточно, чтобы двигаться с теми скоростями, с которыми он движется [3]. Это исследование - не единственное, в котором была доказана несостоятельность гипотезы Грея. Аналогичные измерения провел Национальный университет Чунг Хсинг из Тайваня. Измерения проводили для меч-рыбы, которая плавает даже быстрее дельфина. Исследования показали, что развиваемое рыбой усилие не образует никакого парадокса.

Последние исследования показывают, что парадокс Грея, вовсе не парадокс. Известный американский ученый Я.Т. Ву считает, что гидродинамические и физиологические характеристики дельфинов не представляют собой ничего необычного. Я.Т. Ву объясняет ошибку Грея тем, что, оценивая мощность дельфина, Грей брал явно заниженные значения: он принимал в расчет мощность человека, развиваемую в течение десятков минут, тогда как в течение более короткого периода времени тот же человек может развивать в несколько раз большую мощность. Однако вывод о неактуальности «парадокса Грея» отнюдь не означает, что бесполезно изучать особенности гидродинамики дельфинов. И на сегодня одним из перспективных аспектов является исследование геометрических характеристик тел и плавников дельфинов, структуры обтекания их твердых моделей.

### Список литературы

[1]. Романенко Е.В., Пушков С.Г. Гидродинамика дельфинов, рыб и ластоногих // Сборник научных трудов «Фундаментальная и прикладная гидрофизика» 2008. - УДК 577.31. - URL: <http://hydrophysics.info/wp-content/uploads/2014/02/Romanenko.pdf>

[2]. *Филатова О.* Парадокс Грея.// Элементы.ру. – URL: [https://elementy.ru/kartinka\\_dnya/851/Paradoks\\_Greya](https://elementy.ru/kartinka_dnya/851/Paradoks_Greya). (Дата обращения 30 октября 2021)

[3]. *Романенко Е.В.* Гидродинамика рыб и дельфинов /; Рос. акад. наук. Ин-т проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова. - М. : Изд-во КМК, 2001. - 411 с. : ил., табл.; 25 см.; ISBN 5-87317-087-8. <https://evromanenko.ru/content/grd2001.pdf>

**Лазарев Антон Алексеевич** – студент, бакалавр КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: [anton.lazarev.000@mail.ru](mailto:anton.lazarev.000@mail.ru)

**Анкудинов Анатолий Александрович** – канд. тех. наук, доцент КФ МГТУ, кафедра МКЗ «Тепловые двигатели и гидромашины». Калуга. E-mail: [ankudinov.051@yandex.ru](mailto:ankudinov.051@yandex.ru).

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ИЗНОСА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПРИ ПЕРЕКАЧИВАНИИ АБРАЗИВНЫХ ГИДРОСМЕСЕЙ

Абразивный износ деталей центробежных насосов происходит в результате непрерывных соударений твердых частиц с поверхностями деталей. В момент соударения происходит преобразование кинетической энергии движущейся частицы в работу деформации материала обтекаемой потоком детали. При остаточных деформациях частички поверхностного слоя будут отделяться от основной массы детали, оставляя след, имеющий значительную шероховатость из-за характера воздействия, кристаллического строения и неоднородности металла. Бесчисленные соударения твердых частиц, транспортируемых потоком, с поверхностью детали, даже если они вызывают только упругие деформации материала, также приводят в конечном итоге к разрушению поверхности из-за явлений усталости металла [1].

При работе на абразивных гидросмесях значительное влияние на структуру потока гидросмеси в колесе оказывает увеличение радиуса поворота потока из осевого направления в радиальное. При движении гидросмеси с твердыми частицами от входа в колесо до межлопастного канала происходит изменение направления и характера потока: перед входом на лопасть происходит отклонение потока в радиальном направлении, а при вступлении на лопасть и на диски потоку сообщается вращательное движение. В результате поворота потока абразивные частицы прижимаются к заднему диску колеса [3].

Очертания меридионального сечения влияют на формирование потока не только во входной части, но и на структуру потока по всему каналу колеса.

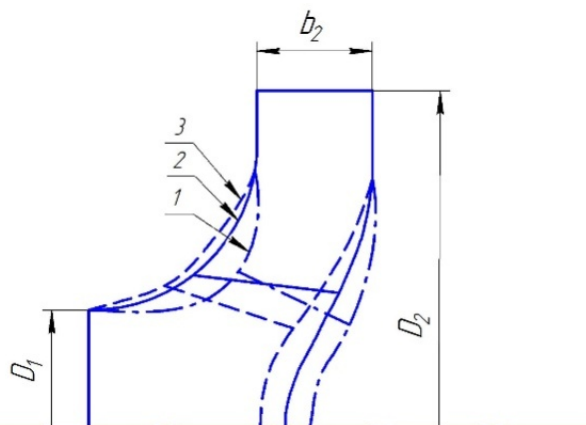


Рис. 1. Сравнение геометрических форм трех вариантов колес центробежного насоса консольного типа

На рис. 1 представлены три варианта рабочего колеса, имеющие различные меридиональные сечения. В колесе первого варианта износ поверхности сосредоточен в зоне прилегания к заднему диску, в колесе третьего варианта – в направлении переднего диска, а в колесе второго варианта износ практиче-

ски равномерен по всей ширине и поверхности лопасти [2]. Таким образом, при некоторых формах границ меридионального сечения колеса можно получить равномерный износ поверхности при работе в оптимальном режиме.

При работе насоса на воде, содержащей взвешенные наносы мелкой твердой фракции, доминирующим становится износ выходных элементов колеса, а тыльная сторона изнашивается значительно меньше. Износ рабочих поверхностей на выходе влияет на изменение напорной характеристики насоса. Для увеличения срока службы утолщают лопасти на выходе с тыльной стороны, без изменения параметров насоса.

В центробежных насосах, работающих на воде, содержащей большое количество взвешенных наносов, целесообразно использовать рабочее колесо с цилиндрической формой лопасти.

Спиральные отводы изнашиваются менее быстро, чем рабочее колесо. Однако износ отвода имеет существенное значение, так как замена корпуса более сложный и экономически невыгодный процесс [3].

Абразивный износ неподвижной детали обтекаемой потоком жидкости со взвешенными твердыми частицами, прямо пропорционален массе частиц, их концентрации в потоке, скорости потока в третьей степени и времени воздействия потока на рассматриваемую деталь:

$$\rho = kmpv^3t \quad (1)$$

Основным направлением в повышении износостойкости отводов является уменьшение скорости. Однако, уменьшение скорости приводит к смещению оптимального режима в сторону большей производительности, что приводит к несовпадению расчетного режима с режимом максимального КПД [2].

Таким образом, необходимо выработать рекомендации по первичному выбору конструктивных параметров элементов лопастного колеса, работающего на абразивных гидросмесьях, и в первую очередь, по построению меридионального сечения колеса. Так центробежные силы при повороте потока прижимают абразивные частицы к заднему диску колеса. Это, во-первых, приводит к значительному износу заднего диска и, во-вторых, увеличивает неравномерность износа. Поэтому стандартная методика построения меридионального сечения должна быть уточнена. Для этого необходимо построить закон распределения твердых частиц в сечениях потока и проанализировать полученное соотношение с учетом выражения (1).

### Список литературы

[1] *Башта Т.М.* Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др.. – 2-е изд. – М., «Машиностроение», 1982. – 423 с.

[2] *Карелин В.Я.* Износ лопастных гидравлических машин от кавитации и наносов. В.Я. Карелин – М., «Машиностроение», 1970. – 184 с.

[3] *Кривченко Г.И.* Гидравлические машины: Турбины и насосы. Г.И. Кривченко – М., «Энергия», 1978. – 320 с.

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

**Савин Владимир Юрьевич** — КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, E-mail: savin.study@yandex.ru

**Научный руководитель:** Савин Владимир Юрьевич — КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, E-mail: savin.study@yandex.ru



## ВЫБОР СХЕМЫ РАЗГРУЗКИ ПЛАСТИН НАСОСА ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Одним из важнейших вопросов проектирования пластинчатых гидромашин высокого давления является разгрузка пластин. Разгрузка пластин позволяет минимизировать износ рабочей кромки пластины и тем самым повысить ресурс работы гидромашин.

Проанализируем две схемы разгрузки пластин. Первая схема (рис. 1) основана на соединении через специальные каналы рабочих камер под пластинами и над пластинами и, соответственно, выравнивании давления в указанных камерах.

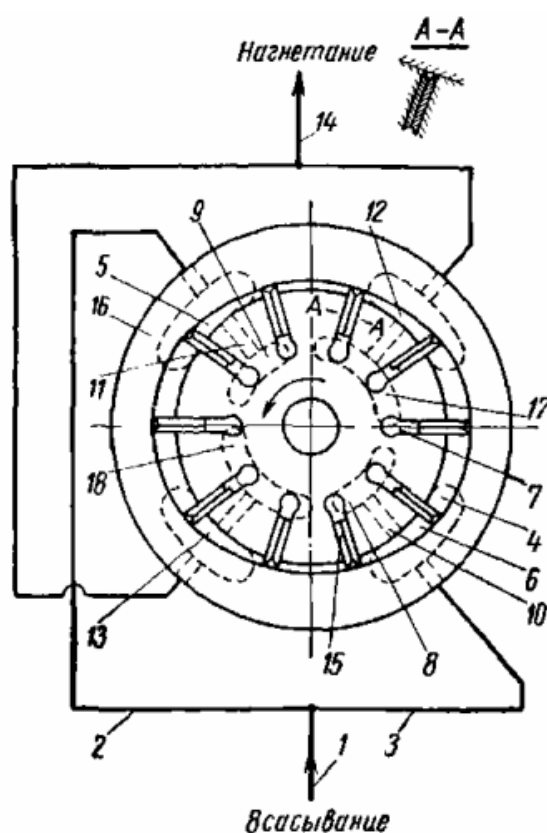


Рис 1. Принципиальная схема пластинчатого насоса двойного действия с разгруженными пластинами при расположении двух пластин в каждом пазу ротора

Нагнетание жидкости из камер, расположенных под пластинами 17 и 18 происходит через вспомогательные окна, а нагнетание жидкости из камер 7 находящимися между пластинами происходит через основные окна 12 и 13.

Всасывание происходит из магистрали 1, которая делится на линии 2 и 3и ведёт к полостям всасывания насоса. По каждой линии происходит подача жидкости в камеры 6, расположенные между пластинами, через основные окна всасывания 4 и 5 и в камеры 7 под пластинами через вспомогательные

окна 8 и 9. Они соединены каналами 10 и 11 с основными окнами всасывания [1].

Для того чтобы уменьшить силу прижатия пластины к статорному кольцу рассматривают разгрузку, где наличие в каждом пазу ротора двух пластин 15, скошенные концы которых, прилегающие к статорному кольцу по двум кромкам, образуют замкнутую камеру. Камера соединена каналом малого сечения, который имеет большое сопротивление, с полостью под пластиной, в результате в камере возникает разгружающее давление, величина которого из-за сопротивления дроссельного канала и некоторых утечек будет меньше, чем давление в полости под пластиной [2].

При всасывании пластины не нагружаются давлением нагнетания и сила, которая прижимает их к статору это центробежная сила.

Вторая схема (рис. 2) построена на использовании ступенчатой конструкции пластины. При этом давление нагнетания воздействует только на одну из ступенек. Тем самым площадь воздействия давления выполнить достаточно малой и, соответственно, минимизировать силу прижатия пластины к статору. Данную схему можно назвать схемой с частичной разгрузкой пластины.

Подходящую форму ступеньки имеют и пазы ротора 2. Находящееся под пластиной 1, пространство 3 соединяется с камерой 4 между двумя соседними пластинами при помощи канала 5, в следствие чего давление под пластинами равно давлению в камере 4. Чтобы обеспечить надёжную силу прижима пластинок к статору 12, камера 6, с выступами пластины 1 и ротора 2, находится с полостью нагнетания каналом 7 и кольцевыми канавками 8 и 9, выполненными в распределительных дисках 10 и 11. Контакт пластины кривой статора осуществляется под действием центробежной силы и давления нагнетаемой жидкости [1].

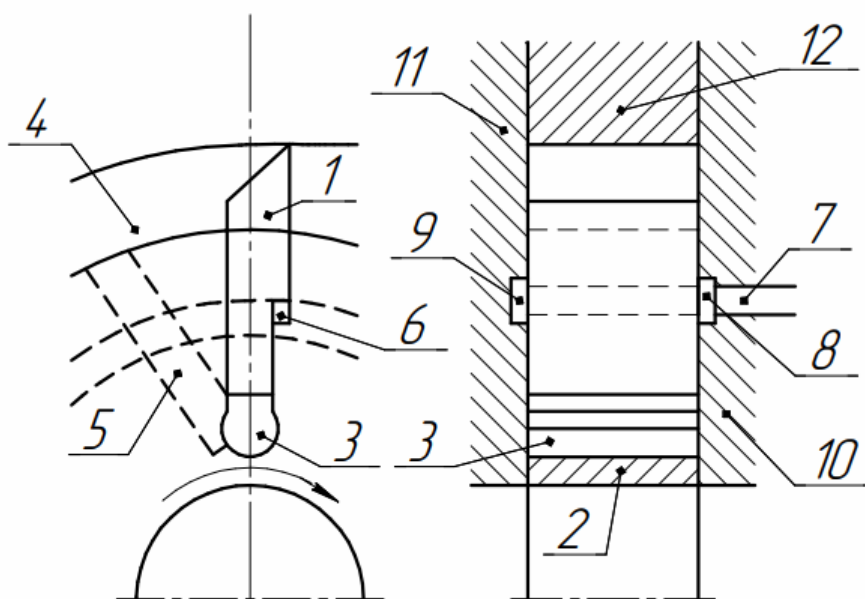


Рис.2. Схемы разгрузки пластин при ступенчатой пластине

Анализируя рассмотренные схемы можно отметить, что первая схема требует более тщательного подбора массы пластин для обеспечения требуемой

силы прижатия пластин. При этом мы можем выйти за оптимальные геометрические параметры пластин. Кроме того, здесь более вероятен эффект залипания пластины при снижении окружающей температуры и, соответственно, повышении вязкости рабочей жидкости. Вторая схема обеспечивает гарантированное прижатие рабочей пластины, но также не лишена недостатков. Выполнение ступеньки на пластине и пазе ротора значительно снижает технологичность и пластины и ротора и увеличивает технологический цикл обработки деталей. В связи с этим все большее распространение получают схемы с разгруженными подпружиненными пластинами, хотя они также не лишены недостатков.

### Список литературы

[1]. *Зайченко И.З., Мышлевский Л.М.* Пластинчатые насосы и гидромоторы / И.З. Зайченко, Л.М. Мышлевский. – М.: Машиностроение, 1970, 229 с.

[2]. *Башта Т.М.* Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем / Т.М. Башта [и др.]. – М.: Машиностроение, 1974. – 296 с.

**Голубев Владимир Игоревич** – студент МК3-72Б КФ МГТУ им. Баумана МК3-72Б. E-mail: [vova.vova.golubev@mail.ru](mailto:vova.vova.golubev@mail.ru)

**Савин Владимир Юрьевич** — КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, E-mail: [savin.study@yandex.ru](mailto:savin.study@yandex.ru)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР FREECAD ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГОУСТАНОВОК**

В энергомашиностроении часто встречается случай разработки однотипных объектов, которые целесообразно создавать с применением технологий параметрического (с заданием исходных параметров) [1] скриптового (с использованием компьютерных программ) проектирования [2]. В данном случае для получения ряда похожих моделей достаточно изменять лишь некоторые числовые (и возможно логические) значения переменных и после этого перезапускать созданную программу, а получение разных визуальных результатов при этом осуществляется автоматически.

В настоящее время более широко применяется бесплатная система автоматизированного проектирования (САПР), которая так и называется FreeCAD [3], обладающая уникальным сочетанием достоинств:

- большим набором встроенных средств создания растровой и векторной (являющейся основной) графики [4], как 2D, так и 3D;
- универсальностью создания объектов для разных отраслей: машиностроения, дизайна, искусства и многих других;
- возможностью подготовки деталей для 3D печати [5], расчёта с использованием метода конечных элементов, создания сложных сборок;
- предусмотрено подключение дополнительных программных модулей для выполнения специфических задач, например, можно использовать дополнительное ядро для создания качественной графики OpenCascade [6], один из популярнейших языков программирования Python [7];
- наличием множества форматов импорта и экспорта объектов, как популярных, так и довольно экзотических [8];
- существуют версии FreeCAD для всех популярных операционных систем: Windows, Linux, MacOS и других (т.е. данная САПР обладает свойством мультиплатформенности);
- выполнение булевых (логических) операций при организации взаимодействия объектов – выдавливания, вращения, суммирования, вычитания, создания вырезов, «натягивания» текстур и огромного количества прочих.

Целью данного исследования является изучение и демонстрация главных принципов проектирования во FreeCAD с использованием средств программной автоматизации, реализованных на языке Python.

Рассмотрим создание простого лопаточного профиля с помощью соединения его сечений. В свою очередь, каждое сечение представляет из себя эскиз, выполненный из составляющих его линий, а также связей между ними (Constraints), которые создаются автоматически. В данном случае связями (ограничениями) являются совпадения координат конца каждого отрезка с координатами начала следующего (точечная связь воспринимается как одна

точка). Данные ограничения в концепции FreeCAD являются необходимыми для замыкания контуров фигур и тем самым исключения появления артефактов при их использовании для создания более сложных комплексных объектов.

Например, указанные связи необходимы для соединения концов дуг корытца и спинки при создании сечений модели лопатки турбины. Связи дуг (Constraints) обозначены на рис. 1 точками; после применения к верхнему и нижнему сечению операции Loft (плавное соединение), получена результирующая модель лопатки.

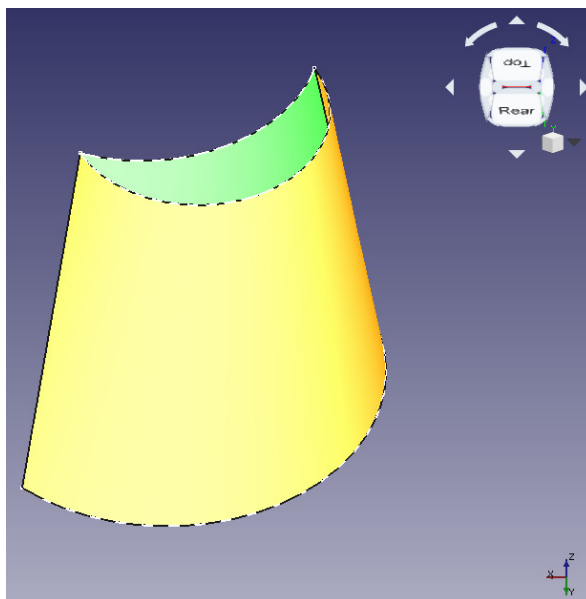


Рис. 1. Модель лопатки турбины, построенной с помощью скрипта на Python в САПР FreeCAD.

Лопатка, представленная на рис. 1, создана программным путём с помощью функций языка Python, в частности, с использованием специальной библиотеки FreeCAD, «соединяющей» функции языка программирования и графического интерфейса пользователя.

Видно, что программа с помощью внутреннего алгоритма самостоятельно соединила сечения лопатки плавными линиями (это и есть смысл алгоритма Loft). С помощью верхней правой панели созданную фигуру можно повернуть для обозрения произвольным образом.

Развивая дальше идеи и программные коды, созданные и описанные в статье при создании сравнительно несложных объектов, можно создать модели и гораздо более сложных форм, например, модели реальных лопаток (9). При этом усложнение алгоритма будет заключаться лишь в добавлении дополнительных точек и связей между ними.

Из представленного обзора и примера создания реальной модели можно сделать вывод о совершенстве САПР FreeCAD (не говоря уже о том, что в ней можно осуществлять весь цикл проектирования элементов энергоустановок) и рекомендовать её к применению в учебном процессе вузе.

## Список литературы

[1]. Ильичев В.Ю. Создание параметрических конечно-элементных трехмерных объектов с использованием функций Python. // Системный администратор. - 2021. - № 5 (222). - С. 82-85.

[2]. Федчун Д.О., Тлустый Р.Е. Генеративные методы создания малых архитектурных форм. // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. - 2018. - № 3. - С. 321-327.

[3]. Ткаченко О.П. Вычислительное моделирование трубопровода с изломом профиля в пакете прикладных программ FreeCAD. // Современные наукоемкие технологии. - 2020. - № 11-1. - С. 73-78.

[4]. Ильичев В.Ю. Использование рекурсивных функций для создания фрактальной графики средствами языка Python. // Системный администратор. - 2021. - № 3 (220). - С. 92-95.

[5]. Ильичев В.Ю. Использование библиотеки ZenCAD языка Python для разработки универсальной методики создания объемных изделий. // Системный администратор. - 2021. - № 6 (223). - С. 82-85.

[6]. Yan J., Li J., Lou Y., Li Z. NC machine interference and collision checking system based on OpenCascade. // В сборнике: Proceedings - 2010 International Conference on Digital Manufacturing and Automation, ICDMA 2010. 2010 International Conference on Digital Manufacturing and Automation, ICDMA 2010. С. 976-979.

[7]. Ильичев В.Ю. Разработка программы для исследования аттрактора Лоренца и ее использование. // Сложные системы. - 2021. - № 1 (38). - С. 56-63.

[8]. Astanaliev E.T.O., Baratov D. Raster and vector formats of electronic document of technical documentation. // Universum: техническиенауки. - 2021. - № 7-3 (88). - С. 35-37.

[9]. Ильичев В.Ю.Использование библиотеки ZenCAD языка Python для разработки универсальной методики создания объемных изделий. // Системный администратор. - 2021. - № 6 (223). - С. 82-85.

**Суркова Полина Владимировна** – студент МК3-71Б ПАО КТЗ. E-mail: surkovapv@student.bmstu.ru

**Ильичев Владимир Юрьевич** – доцент кафедр «Тепловые двигатели и гидромашин», «Мехатроника и робототехнические системы», к.т.н. КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана. E-mail: patrol8@yandex.ru

## **ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПЛАСТИНЧАТОГО НАСОСА**

Объемный насос - это гидравлическая машина, в которой передача энергии жидкости осуществляется за счет изменения объема рабочей камеры. Объемные насосы широко используются в станкостроении, в строительном дорожном машиностроении, в автомобилях, в химическом машиностроении, в корабельных механизмах и т. д. [1]. К числу наиболее совершенных и дешевых видов объемных насосов, принадлежат пластинчатые насосы. Пластинчатые насосы относятся к роторным гидромашинам, рабочим органом которой являются пластины (шиберы).

Первый прототип поршневого насоса был построен примерно за 200 лет до н.э. в Александрии, вероятно созданный Ктцебиусом [1]. Все стандартные элементы поршневого насоса, такие как плунжер, откидные клапаны и эксцентриковый привод плунжера были использованы в этом насосе. С этого момента начался этап развития насосостроения.

Заметный прогресс в области развития насосостроения начался в 19 веке по большей части в Англии. Из-за развития горного дела и общей индустриализации производства возникла необходимость добычи воды из земных недр. В это время было много попыток разработать пригодный для эксплуатации пластинчатый насос. В 1874 году в Канаде был запатентован первый роторно-пластинчатый насос Чарльзом Барнсом из Вуд-Пойнта (Саквилля) [2].

Желание качать воду в свой дом и откачивать трюмную воду со своих кораблей побудило Барнса экспериментировать с методами откачки воды. 15 июня 1874 г. Барнс запатентовал «роторно-пластинчатый насос Барнса». Изобретение состояло из колеса с диаметрально расположенными скользящими пластинами, которое вращалось в кожухе, имеющем сегментное расширение (рис.1). Во время работы образовывались всасывающая и напорная камеры, которые сообщаются с впускным и выпускным отверстиями. Когда колесо вращалось, створки скользили внутрь и наружу по корпусу, вызывая непрерывное всасывание через впускное отверстие. На впускной трубе был установлен обратный клапан, чтобы противостоять обратному давлению и поддерживать наполненность впускной трубы [3].

Следует понимать, что в 1874 г. возможности привода насоса были ограничены. Бензиновые двигатели не были изобретены, электродвигатели и электричество отсутствовали; таким образом, ветер, энергия воды или паровой двигатель были бы методами приведения в движение насоса.

До начала 20-го века роторный насос обычно понимался как «шестеренчатый насос», состоящий в основном из двух зацепляющихся шестерен, которые удерживали жидкость между зубьями шестерни и корпусом насоса.

3559  
Barnes' Rotary Pump.

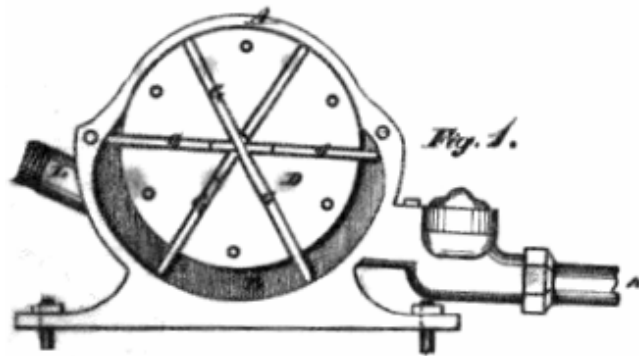


Рис. 1 Роторно-пластинчатый насос Барнса

Это создавало небольшие уплотняющие полости, которые перемещали жидкость при вращении. В 1899 году Р.М. Блэкмер в США создал современную конструкцию пластинчатого насоса (рис.2). В отличие от подачи потока шестеренчатого насоса, которая постоянно падает по мере износа зубьев шестерни, потери в пластинчатом насосе практически незначительны. По мере того как пластины изнашиваются на концах, они просто выходят из пазов ротора, чтобы саморегулироваться [4].

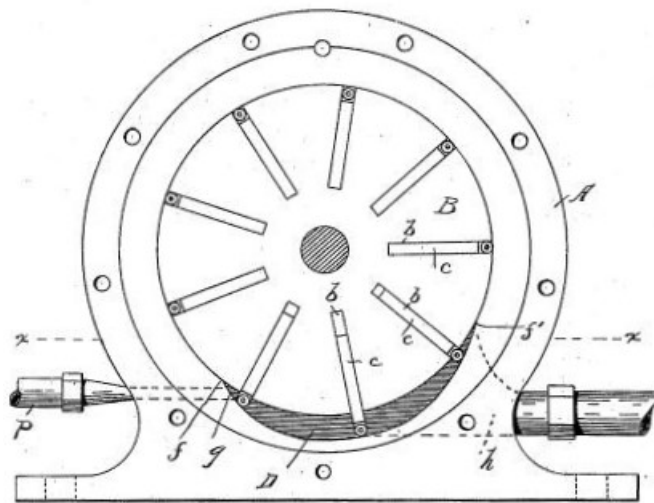


Рис. 2 Пластинчатый насос

В 1909 г. Карл Хоффманн из Германии создал регулируемый роторно-пластинчатый насос для газов. Данный насос считался менее подходящим, чем другие вакуумные насосы для жидкостей с высокой вязкостью и высоким давлением. Насос считался хорошим для жидкостей с низкой вязкостью. Роторно-пластинчатый насос состоит из вращающегося цилиндра, поддерживаемого эксцентрично по отношению к камере насоса и находящийся в колодце. С помощью двух пластин скользящих в указанном цилиндре, втягивается газ через соединительную трубу и нагнетает его под более высоким давлением в ресивер [5].



В 21 веке пластинчатые насосы не только не утратили свою актуальность, но и стали одним из самых востребованных типов объемных насосов. Можно выделить несколько перспективных направлений развития пластинчатых насосов.

1. Уменьшение неравномерности подачи. Для устранения этого недостатка применяют насосы с большим количеством пластин. У насосов двукратного действия в основном число пластин чётное и если оно кратно 4, подача полностью равномерна.

2. Повышения механического КПД. При работе насоса пластины должны быть прижаты к статорному кольцу. Начальный прижим пластин в насосе обычно осуществляется под действием центробежных сил и иногда пружин, этим, кроме увеличения рабочего объема, достигается в частичное гидростатическое уравнивание пластин, благодаря которому уменьшаются контактные нагрузки между пластинами и статором и увеличивается механический КПД.

3. Совершенствуются способы регулирования. Различают пластинчатые насосы прямого и непрямого регулирования, причем в первых применяется силовая пружина для уравнивания радиальной составляющей силы на статоре, а во вторых золотниковый распределитель, изменяющий давление в камере управляющего поршня (рис. 3) [6].

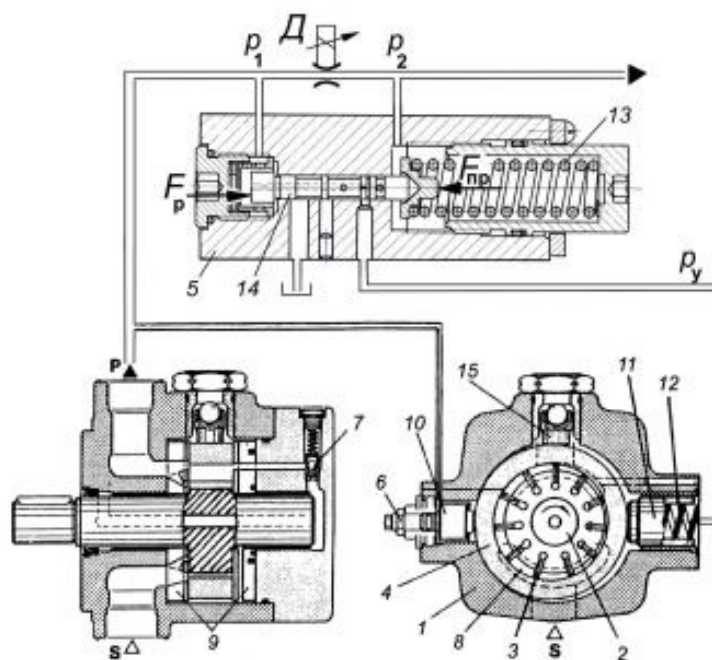


Рис.3 Пластинчатый насос с регулятором подачи

Пластинчатые насосы используются уже около 150 лет. Им до сих пор отдают предпочтения в тех случаях, когда надо обеспечить транспортировку сред с критически низкими показателями вязкости, небольшие габариты, простоту конструкции и более равномерную подачу насоса. Изобретение пластинчатого насоса оказало колоссальное влияние на развитие машиностроения.

### Список литературы

[1]. Насосы справочное пособие/ К. Бедеке, А. Гредевальд, К.-Х. Хундт, Г. Кёлльнер и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 500 с.

[2]. Барнс Ч.К. (Канада). Роторный насос. Заявка №3559 Канада, опубл. 15.06.1874.

[3]. Bill Snowdon, Charles C. Barnes — Farmer, Fisherman, Ship-builder, Inventor//Tantram Heritage Trust, the White Fence URL: <https://tantramheritage.ca/2012/02/white-fence-54/> (дата обращения: 21.10.2021)

[4]. Blackmer pioneering history. URL: <https://www.psgdover.com> (дата обращения: 23.10.2021)

[5]. Хоффманн К.. Роторный насос для газов. Заявка №1906321006А США, заявитель Siemens Schuckertwerke GmbH, заявл. 09.06.1906, опубл. 11.02.1908, приоритет 09.06.1906 №19060321006 (США), 5 с.

[6]. Станочные гидроприводы: Справочник / В. К. Свешников. — 6-е изд. перераб. и доп. — СПб.: Политехника, 2015. — 627 с.

**Азаренко Никита Александрович** – студент МКЗ-72Б КФ МГТУ им. Баумана МКЗ-72Б. E-mail: [Kotl99@yandex.ru](mailto:Kotl99@yandex.ru)

**Шитохина Ольга Григорьевна** – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [bonkog@mail.ru](mailto:bonkog@mail.ru)

## МЕТОДЫ БОРЬБЫ С КАВИТАЦИЕЙ В ПЛАСТИНЧАТЫХ НАСОСАХ

Слово кавитация произошло от латинского *cavitas* – пустота. Последствиями кавитации в объемных насосах являются: эрозия материалов стенок трубопровода и других элементов объемного насоса, наличие шума, вибрации, уменьшение КПД и производительности насоса. Поэтому при проектировании и эксплуатации пластинчатых насосов необходимо предусматривать мероприятия по улучшению их кавитационных качеств.

Под кавитацией понимается местное выделение из жидкости газов и водяных паров (локальное кипение жидкости) с последующим разрушением (конденсации и смыканием) выделившихся парогазовых пузырьков, сопровождающимся местными гидравлическими микроударами [4]. Явление кавитации в текущей жидкости возникает в тех случаях, когда статическое давление в какой-либо области потока падает ниже давления насыщенных паров жидкости.

Исключить или кардинально уменьшить кавитацию в пластинчатых насосах можно следующими мероприятиями:

1. Уменьшить высоту всасывания. Решение состоит в том, чтобы установить насос ниже уровня жидкости в питающем баке, так, чтобы уровень жидкости в баке был расположен выше центра входного отверстия в насосе не менее чем на 0,5 м [1]. При использовании в гидросистеме приемных фильтров, для обеспечения безкавитационной работы насоса необходимо соблюдать условие:  $\Delta p \pm \gamma h \cdot 10^{-6} \leq 0,02$  МПа, где  $\Delta p$  – потери давления во всасывающей гидролинии, МПа;  $\gamma$  – удельный вес рабочей жидкости, Н/м<sup>3</sup>;  $h$  – высота всасывания, м (знак +, если насос расположен над баком) [3]. Фильтры рекомендуется выбирать с запасом по пропускной способности, т. к. их техническое обслуживание затруднено.

2. При изготовлении статоров важно, чтобы на участках постоянного большого и малого радиусов изменение размеров радиусов было минимальным (не более 0,05 мм), ибо оно приводит к изменению объема камеры между пластинами при переносе камеры из зоны всасывания в зону нагнетания и из зоны нагнетания в зону всасывания. При увеличении этого объема давление в камере между пластинами падает, и это может привести к появлению кавитации [2].

3. При конструировании насоса следует обеспечивать максимальную скорость всасывания  $V_{\max}$  не более 7 м/с. Снижение величины  $V_{\max}$  может быть достигнуто увеличением зазора между статором и ротором. Так же этого можно избежать, если для снижения величины  $V_{\max}$  на роторе делать фаски. Размеры окон в распределительных дисках должны быть такими, чтобы максимальная мгновенная скорость рабочей жидкости в окнах всасывания не превышала допустимых значений [2].

4. Для уменьшения действия кавитации в пластинчатых насосах применяют коррозионностойкие материалы (бронза, хром и т.д.). Устойчивость материалов к кавитационному разрушению так же повышается с увеличением механической и химической стойкости. Полностью устранить действие кавитации с помощью коррозионностойких материалов невозможно [1].

5. Эффективным способом устранения кавитации является переход на пониженные обороты, что, позволяет существенно облегчить работу насоса. В некоторых случаях приходится применять многопоточную схему насоса, что также позволяет снизить кавитационный износ [5].

6. Одним из распространенных способов улучшения кавитационных качеств пластинчатых насосов является увеличение давления на входе в насос, достигаемое применением вспомогательных насосов для подкачки или искусственного наддува газом жидкостных резервуаров.

Улучшение кавитационной характеристики пластинчатого насоса является одной из важных технических проблем. Наилучшими способами предотвращения кавитации являются: применение приёмов при конструировании насоса, позволяющих обеспечить минимальную скорость жидкости в полостях насоса, а также уменьшение высоты всасывания при проектировании насосной установки.

### Список литературы

[1]. Машиностроительная гидравлика/Башта, Г.М. - М.: Машиностроение, 1971. – 671 с.

[2]. Пластинчатые насосы и гидромоторы/Зайченко И.З., Мышлевский Л. М. - М.: Машиностроение, 1970.- 229 с.

[3]. Станочные гидроприводы: Справочник / В. К. Свешников. — 6-е изд. перераб. и доп. — СПб.: Политехника, 2015. — 627 с.

[4]. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Объемные гидро- и пневмомашин и передачи/А.Ф. Андреев, Л.В. Барташевич, Н.В. Богдан и др.; Под ред. В.В. Гуськова. – Мн.: Выш. шк., 1987.- 310 с.

[5]. Судовые насосы: Справочник/ Будов, В.М. – Л: Судостроение, 1988.- 432 с.

**Сухоненков Илья Алексеевич** – студент МКЗ-72Б Студент КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: [ilya.suhonenkov@yandex.ru](mailto:ilya.suhonenkov@yandex.ru)

**Шитохина Ольга Григорьевна** – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [bonkog@mail.ru](mailto:bonkog@mail.ru)

## ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ЛОПАТОЧНЫХ ДИФFUЗОРОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ

При создании малорасходных центробежных компрессоров с относительно высокой степенью повышения давления ( $\pi_k = 2...3,5$ ) в одной ступени основной проблемой является разработка эффективных околозвуковых радиальных диффузоров, обеспечивающих получение высокого КПД компрессора в широком диапазоне изменения его характеристик. В связи с этим, актуальность задач расчетаопределения характеристик радиальных диффузоров и построение моделей течения в них возрастает. Задачами данной работы являлось рассмотрение разных видов диффузоров ЦБК, применяемых в малоразмерных ГТУ.

Первым этапом работы стало рассмотрение различных видов радиальных диффузоров, применяемых в малоразмерных установках, выявление их достоинств и недостатков.

В радиальном диффузоре малоразмерного центробежного компрессора происходит преобразование кинетической энергии потока, выходящего из рабочего колеса, в потенциальную энергию давления. Уменьшение скорости происходит в соответствии с увеличением проходного сечения каналов диффузора от входа до выхода. Диффузоры должны обеспечивать значительное (в 3–5 раз) снижение скорости потока с минимальными потерями. Кроме того, потери в диффузоре должны в возможно меньшей степени зависеть от изменения углов атаки потока на входе в диффузор, а интервал изменения углов атаки от режима срыва и запирания потока в диффузоре должен быть как можно больше.

Различают два типа диффузоров: безлопаточный (щелевой) и лопаточный. На практике, как правило, используют систему диффузоров, состоящую из щелевого диффузора и лопаточного диффузора. Поток на выходе из компрессора имеет значительную неравномерность, что приводит к снижению эффективности работы лопаточного диффузора. Поэтому компрессоры только с лопаточным диффузором не применяются. Безлопаточный диффузор гораздо менее чувствителен к неравномерности потока, однако по сравнению с другими диффузорами он менее эффективен. Поэтому, он так же, как и лопаточный диффузор, отдельно практически не используется. Система, состоящая из щелевого диффузора и диффузора другого типа, оказывается наиболее эффективной. В такой системе на выходе из компрессора установлен малочувствительный к неравномерности потока щелевой диффузор, а за ним, в зоне выравненного потока, - лопаточный.

Конструкции лопаточных диффузоров разнообразны. Обычный лопаточный диффузор образуется набором клиньев. Затупленный конец не приводит к большим потерям, как этого можно было бы ожидать, поскольку скорости в этой области низкие. Потери, связанные с кинетической энергией потока на

выходе, нетрудно оценить, если известна геометрия, и обычно они не превышают 5%. В другой разновидности конструкции лопаточный диффузор имеет изогнутые лопатки, выполненные из тонких пластин или стандартных профилей. Такой диффузор позволяет получить меньший диаметр на выходе, чем в случае прямых лопаток, а большой выходной диаметр является серьезным недостатком центробежного компрессора. С другой стороны, изогнутые лопатки труднее спроектировать и изготовить, к тому же они обеспечивают несколько меньшее повышение статического давления.

Клиновидные диффузоры отличаются повышенной эффективностью и возможностью получения больших степеней уширения  $q=3...4$ . К недостаткам следует отнести их значительные габариты. В то же время лопаточный диффузор, выполненный из лопаток загнутых по окружности, имеет меньшие габариты, но крепление таких лопаток и их изготовление гораздо сложнее.

Теоретическим и экспериментальным исследованиям течения газа в радиальных диффузорах центробежных компрессоров различных конструкций посвящен ряд фундаментальных работ [1–4]. На основании результатов «экспериментального исследования радиальных диффузоров при околосвуковой скорости набегающего потока», проведенных в НИИД (научно-исследовательский институт двигателей), одним из лучших решений является применение клиновидного диффузора [11].

Главным вопросом при написании данной статьи является выбор и расчет радиального диффузора. При рассмотрении и расчете ступени компрессора основными параметрами будут являться КПД и потери давления. В большинстве при расчете радиальных диффузоров используются традиционные методики. Расчеты проводятся с помощью формул, выведенных с допущениями, в которых содержатся приближенные коэффициенты. Таким образом, для получения результатов будет произведен расчет при помощи газодинамического анализа в программе Ansys. Также в дальнейшем планируется рассмотрение создания программного обеспечения на базе языка программирования Python для расчета радиального диффузора [5], [6], [7].

Рассмотрение потерь в лопаточном диффузоре при применении профилей лопаток сложная задача, поэтому в дальнейшем планируется провести расчет и моделирование течения газа в клиновидном диффузоре. [8], [9], [10].

### Список литературы

- [1] Баренбойм А. Б., Шлейштейн А. И. Газодинамический расчет холодильных центробежных компрессоров. – М.: Машиностроение, 1980. – 152 с.
- [2] Баренбойм А. Б. Малорасходные фреоновые турбокомпрессоры. – М.: Машиностроение, 1974. – 224 с..
- [3] ДенГ. М. Механика потока в центробежном компрессоре. – Л. Машиностроение, 1973. – 270 с.
- [4] Кампсти Н. А. Аэродинамика компрессоров / Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 688 с.

[5] Карташов С.В., Кожухов Ю.В. Обоснование выбора расчетной области в задачах моделирования вязкого потока в малорасходных ступенях центробежного компрессора // Холодильная техника. №1. 2020. С. 22–27

[6] Рахманина Л.А., Аксенов А.А. Исследование влияния неравномерного распределения абсолютной скорости потока на входе в осерадиальное рабочее колесо центробежного компрессора с применением методов численного моделирования в Ansys CFX // Компрессорные технологии. №2. 2019. С. 18–25

[7] Чеглаков И.В., Кожухов Ю.В. Результаты моделирования пространственного течения в радиальном рабочем колесе центробежного компрессора с применением программного пакета Fine/Turbo // Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. СПб.: Ин-т энергетики и транспортных систем, 2014. С. 221–223

[8] Селезнев К.П. Теория и расчет турбокомпрессоров. Л.: Машиностроение, 1986. 389 с

[9] Куфтов А.Ф., Хоанг Конг Чанг. Профилирование лопаточных диффузоров диагональных и радиальных компрессоров // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение. - 2004. - №57. - С. 107-112.

[10] Оптимизационные задачи в энергомашиностроении Ильичев В.Ю., Юрик Е.А., Калуга, 2021.

[11] <https://www.niidmsk.ru/> Экспериментальное исследования радиальных диффузоров при околосвуковой скорости набегающего потока// Москва. - 1971г. –66стр.

**Лембак Игорь Александрович** – студент КФ МГТУ им. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: igor.lembak@yandex.ru

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

## **ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ УПЛОТНЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГТД, И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УПЛОТНЕНИЯ МОДУЛЯ МСУ–800**

Одной из актуальных проблем в современном турбиностроении является задача повышения эффективности его узлов, и как следствие, необходимость снижения непроизводительных утечек воздуха, отбираемого в компрессоре для охлаждения турбины, наддува в опорах турбин и компенсации осевых усилий на подшипники. С этой целью произведен краткий анализ видов уплотнений, обзор областей применения, а также достоинств и недостатков различных типов. Основными конструкциями уплотнений являются контактные уплотнения и бесконтактные уплотнения.

Среди контактных уплотнений наиболее распространены торцевые уплотнения и контактные уплотнения с эластомерным элементом. Достоинствами контактных уплотнений являются: простота эксплуатации, высокая надежность, нечувствительность к продольным перемещениям, возможность работать в любой агрессивной среде. К недостаткам контактных уплотнений относятся: увеличение габаритов и относительно высокая стоимость изготовления, высокие потери на трение, высокий момент сопротивления.

В качестве разновидностей бесконтактных уплотнений можно выделить такие, как щелевые, лабиринтные, плавающие уплотнения и тд. Основным преимуществом бесконтактных уплотнений является отсутствие трения в сопрягаемых деталях уплотнения, а следовательно, и их износа. Такие уплотнения просты в изготовлении, надежны и не требуют технического обслуживания. Недостатком уплотнений этого типа является принципиальное отсутствие герметичности, что связано с особенностями их конструкции [1]. Наиболее широкое распространение в турбомашинах получили лабиринтные уплотнения, отличающиеся способностью работать в широком диапазоне температур и перепадов давления рабочего тела. Лабиринтные уплотнения выбираются по аэродинамическому признаку, характеризующему траекторию движения потока между соседними зазорами [2], [3]. К применению в турбомашинах рекомендуется пять основных типов уплотнений. Каждый тип уплотнения имеет предпочтительную область применения в зависимости от требуемых величин осевого разбега и радиального зазора [4]. Так как ГТУ имеют большой осевой разбег ротора, в качестве объекта исследования выбрано прямоточное лабиринтное уплотнение.

Для определения характеристик лабиринтного уплотнения производился расчет по методике изложенной в руководящих технических материалах (РТМ) [4]. По данной методике расчет протечек в лабиринтных уплотнениях производится по формуле Стодолы. Исследование производилось с целью



снижения протечек через лабиринтные уплотнения 5 опоры для универсального модуля МСУ – 800, рисунок 2.

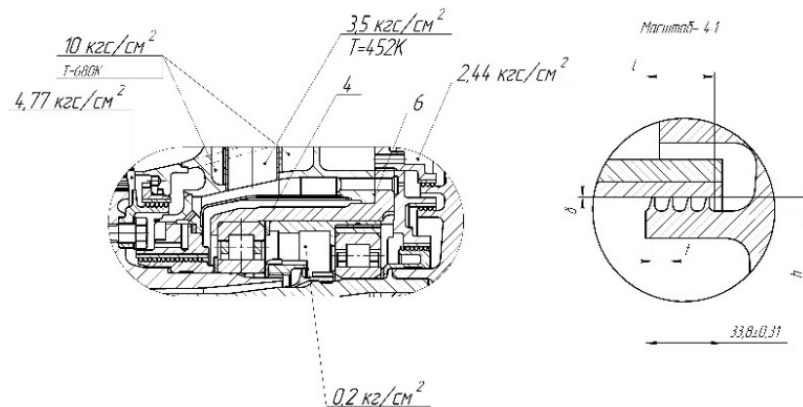


Рис. 2. Лабиринтные уплотнения 4 и 5 опоры универсального модуля МСУ – 800.

На основании проведенного расчета по формуле величина протечек через лабиринтное уплотнение равна  $G = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$ . Кроме протечек в лабиринтных уплотнения, может быть произведен расчет давлений за каждым гребнем, по результатам которого строится схема действия лабиринтного уплотнения.

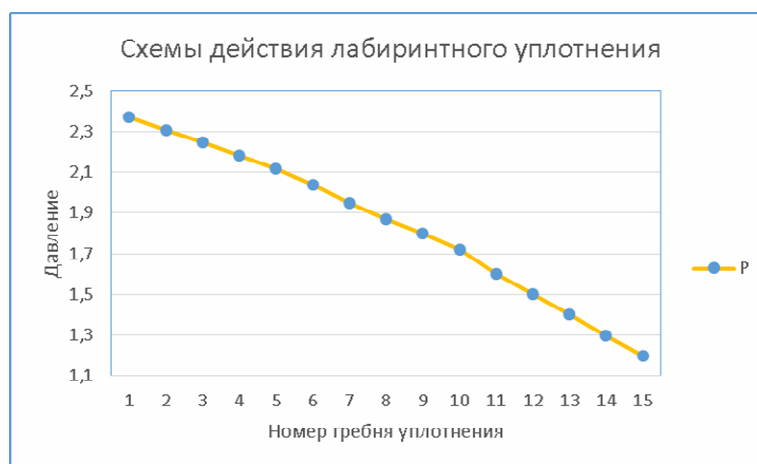


Рис. 3. Схема действия расчетного лабиринтного уплотнения

Для получения результатов, приближенных к экспериментальным будет произведена верификация традиционной методики расчёта протечек по РТМ при помощи газодинамического анализа, в программе Ansys при различных видах уплотнения.[5]. В дальнейшем в работе будет рассматриваться создание программы расчета лабиринтного уплотнения на языке Python по выбранной методике. [6], [7]. На основе написанной программы, планируется проведение анализа работы уплотнения при разных давлениях перед и за ним, а также влияние угла наклона гребней лабиринтных уплотнений на протечки. По произведенному расчету в программе для получения оптимальных показателей протечек и оптимального вида уплотнения будет производиться оптимизация конструкций уплотнения [8], [9], [10].

Таким образом, произведен обзор конструкций уплотнений, на основе которого выбрано наиболее распространенная конструкция, которой является лабиринтное уплотнение и определены ее основные характеристики. Сформулирован план дальнейшего развития тематики.

### Список литературы

[1]. *Рис В.Ф.* Центробежные компрессорные машины. —3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1981.— 351 с.

[2]. *Щелевые и лабиринтные уплотнения гидроагрегатов / Г. А. Никитин.* - М. : Машиностроение, 1982. - 135 с.

[3]. *Васильцов Э.А.* Бесконтактные уплотнения. // Л.: Машиностроение. – 1974. – 156 с.

[4]. *Кондрашов Ю.И.* Конструкция и проектирование агрегатов и систем [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Ю. И. Кондрашов; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Самара, 2011.

[5]. *РТМ 108.020.33-86.* Уплотнения лабиринтные стационарных паровых и газовых турбин и компрессоров. Проектирование и расчет. – М.: НПО ЦКТИ, 1988.

[6]. *Разработка программных продуктов с использованием модуля Python Coolprop для исследования эффективности утилизации тепла продуктов сгорания газообразных топлив Ильичев В.Ю.* Системный администратор. 2020. № 11 (216). С. 80-83.

[7]. *Создание программ на языке Python для исследования множества мандельброта.* Ильичев В.Ю., Качурин А.В. E-Scio. 2021. № 5 (56). С. 362-371.

[8]. *Работа паротурбинных установок на переменных режимах,* Ильичев В.Ю., Хахалев И.С. СтройМного. 2018. № 1 (10). С. 2.

[9]. *Влияние угла наклона гребней лабиринтных уплотнений турбин на протечки пара,* Ильичев В.Ю., Ибрагимов С.В. Электронный журнал: наука, техника и образование. 2017. № СВ2 (13). С. 15-22.

[10]. *Оптимизационные задачи в энергомашиностроении* Ильичев В.Ю., Юрик Е.А., Калуга, 2021.

**Качурин Алексей Витальевич** – студент КФ МГТУ им. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: alek9024@gmail.com

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

## ОБЗОР МЕТОДИК ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МУСОРА

Перед современной цивилизацией встали три глобальных взаимосвязанных проблемы: возрастающее энергопотребление, сокращение традиционных топливных ресурсов и увеличивающееся загрязнение окружающей среды. Сжигание углеводородного топлива, при действующих технологиях, приводит к ежегодному выбросу в окружающую среду до 57 Гт двуокиси углерода и других вредных веществ. Потенциально, энергетическими топливными ресурсами являются: промышленные органикосодержащие отходы, мусор и твердые бытовые отходы (ТБО), постоянно образующиеся в результате жизнедеятельности человека. Они могут быть направлены для сжигания на мусороперерабатывающие предприятия с выработкой электроэнергии и теплофикационного тепла. С этой точки зрения, мусор и ТБО могут являться возобновляемым источником энергии [1].

Существует несколько технологий энергетической переработки мусора и ТБО. То есть технологий с получением тепла для энергоустановок, или горючих веществ, с последующим их сжиганием.

Для термической переработки в мировой практике применяются следующие технологии:

1. **Сжигание на колосниковой решетке.** Максимальная температура в зоне горения составляет порядка 1200°C, отходящие газы проходят систему очистки, что позволяет разрушить большинство вредных веществ, в частности диоксины. Теплота сжигания мусора в котле превращает питательную воду в пар, который направляется в паротурбинную установку для производства электроэнергии, поступающей в сеть. К достоинствам такой технологии относят высокую энергоэффективность и относительно низкие затраты на установленные мощности, по сравнению с другими технологиями. Недостатки: необходимость дальнейшего захоронения золошлаковых отходов, негативное общественное мнение относительно технологии сжигания.

2. **Сжигание в кипящем слое** представляет собой процесс, при котором отходы смешиваются инертными материалами приводятся в псевдосжиженное состояние. Горящие отходы нагревают воду и создают пар, который направляется на отопление или на паротурбинную энергоустановку. Технология применяется, например, при сжигании иловых осадков сточных вод. Достоинства: технология не чувствительна к типу и калорийности отходов, может использоваться для твердых и жидких фракций. Недостатки: большое количество золошлаковых отходов, требующих дальнейшей обработки или захоронения.

3. **Пиролиз** представляет собой процесс, при котором размельченные отходы или ТБО подвергаются термическому разложению без доступа кислорода, в результате чего получается жидкое топливо и синтез-газ, который используется как топливо в традиционных энергоустановках. Технология при-

меняется для однородных высококалорийных отходов, например для переработки старых шин. Достоинства: технология не чувствительна к типу и калорийности отходов, может использоваться для твердых и жидких фракций. Недостатки: высокая стоимость оборудования, сложность технологии, энергоэффективность ниже, чем при непосредственном сжигании, высокие требования к однородности и составу отходов.

4. **Газификация** — процесс переработки отходов в синтетический газ, который используется как топливо в традиционных энергоустановках. В 2017 г. В Японии, например, было построено 2 установки такого типа. Технология газификации позволяет снизить объем образуемых золошлаковых отходов до 10–15% и производить их стеклование сплучением инертного шлака. Достоинства: отсутствие побочных продуктов переработки. Недостатки: значительное потребление энергии на собственные нужды, высокая сложность и стоимость оборудования.

5. **Плазменная газификация** основана на использовании технологии плазменной горелки для создания высокотемпературного газа, который преобразует органические вещества в синтетический газ, а твердые — в жидкое и/или твердое топливо. Образующийся в результате газификации синтез-газ содержит водород и монооксид углерода, а также небольшое количество метана, ацетилена и этилена. Теплотворная способность полученного газа может достигать 30-35% теплотворной способности природного газа. Это делает возможным его использование для работы газовых турбин, газопоршневых и паротурбинных энергоустановок. Достоинства: более низкий уровень выбросов вредных веществ в атмосферу по сравнению с методами сжигания. Недостатки: технология применяется при однородных по составу потоках отходов.

Сравнительная характеристика различных технологий энергетической переработки мусора и опыт их использования в России представлены в табл. 1 [2].

Таблица 1.

**Характеристики технологий энергетической переработки отходов**

Показатель	Технологии термической переработки мусора				
	Сжигание		Газификация	Плазменная газификация	Пиролиз
	На колосниковой решетке	В кипящем слое			
Число заводов в мире, шт	1500	200	120	20	20
Капитальные затраты на т. годовой мощности по отходам, тыс. руб./т в год	35-70	35-70	100-150	150-200	50-100
Операционные за-	1,5-1,7	1,7-2,0	2,0-2,5	2,0-30,0	1,5-1,7

Показатель	Технологии термической переработки мусора				
	Сжигание		Газификация	Плазменная газификация	Пиролиз
	На колосниковой решетке	В кипящем слое			
траты, тыс. руб./т в год					
Энергетическая эффективность (при производстве только электрической энергии, без тепла), %	28	25	23	н/д	н/д
Температура процесса, °С	850-1200	850-1200	1000-2000	3000-10000	400-500
Необходимость предварительной подготовки отходов	Не требуется	Сортировка, измельчение, подсушка, гомогенизация			
Средние размеры заводов, тыс. т. отходов в год	200-400	100-300	20-100	20-50	20-75
Опыт использования в России	Мусоросжигательные заводы №2 и №3 в Москве	Мусоросжигательный завод №4 в Москве	Нет	Нет	Нет

### Выводы

1. Анализ показывает, что низкий процент утилизации (использования) отходов в России связан с недостаточным развитием инфраструктуры по их переработке и недостаточностью специализированного оборудования.[3]

2. Переработка отходов в полезную энергию обладает значительным потенциалом, а также приводит к значительному снижению выбросов парниковых газов. Применение рассмотренных выше технологий позволит в комплексе решать не только обострившиеся проблемы утилизации отходов с учетом экологических требований, но и получать энергию из, по сути, возобновляемых источников, снижать выбросы вредных веществ, что в целом направлено на развитие в стране низкоуглеводной экономики [4].

### Список литературы

[1] *Исламова С.И., Мухамедшина Э.И.* Технологии переработки, утилизации и получения энергии из твердых бытовых отходов. Труды Академэнерго, 2012, № 4, с. 88–96.

[2] *Потравный И.М., Баах Д.* Энергетическая утилизация твердых коммунальных отходов в контексте низкоуглеродного развития. *Управленческие науки = Management Sciences in Russia*, 2021, № 11, с. 6-22.

[3] *Асхабов Р.Ю., Алихаджиева Д.Ш.* Управление проектами по переработке отходов на основе развития рынка экологических товаров, работ и услуг. *Горизонты экономики*, 2018, № 3, с. 5–9.

[4] *Лихачева О.И., Советов П.М.* Концептуальное представление модели организации взаимодействия факторов сферы обращения с твердыми коммунальными отходами в регионе. *Экономика устойчивого развития*, 2018, № 1, с. 156–16.

**Мкртчян Армен Смбаатович** – магистрант, бакалавр Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k1kf@bmstu-kaluga.ru

**Жинов А.А.** –

## ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ДРОССЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Современные электрогенерирующие мощности в области тепловой энергетики базируются на использовании в качестве приводов электрогенераторов паровых и газовых турбин большой и средней мощности. Однако существует, и имеет развитие, рынок электрогенерирующих установок малой мощности в диапазоне от десятков до сотен киловатт. Основные сферы применения таких установок – системы автономного и резервного электро- и теплоснабжения частных резиденций, многоквартирных домов, складских и офисных площадей, больниц и т.п. [1]. В отдельную категорию применения электрогенерирующих установок малой мощности следует отнести энергогенерирующие установки использующие возобновляемое топливо (биогаз) и условно «бесплатное» топливо – попутный нефтяной газ.

До недавнего времени, преобладающим типом приводов в электрогенерирующих установках малой мощности являлись бензиновые, дизельные и газопоршневые двигатели. Прогресс в области материаловедения, технологий обработки металлов, оптимизация схемных решений дал возможность занять определенную нишу на этом рынке газовым микротурбинам (МГТД).

Наиболее распространенное схемное решение современной газовой микротурбины представлено на рис. 1 [2]. Двигатель имеет простую, одновальную конструкцию, ротор которой образован, зачастую, одной деталью, объединяющей в себе рабочие колеса центробежного компрессора, центростремительной турбины и якоря электрогенератора. Сжигание топлива осуществляется в индивидуальной или кольцевой камере сгорания, а повышению КПД установки способствует утилизация тепла выхлопных газов в рекуператоре, в котором осуществляется, подогрев воздуха перед камерой сгорания.

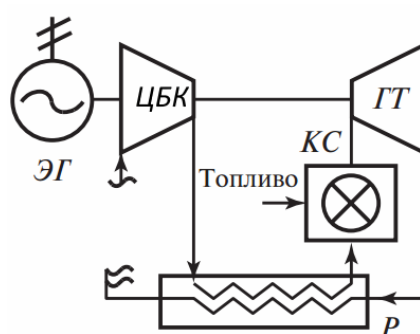


Рис.1 Принципиальная схема ГТД:

ЦБК – центробежный компрессор; ГТ – газовая турбина;  
КС- Камера сгорания; P – Рекуператор; ЭГ – генератор электрического тока

Важной задачей российского энергетического машиностроения является создание конкурентоспособных отечественных микротурбин, которое воз-

можно на основе имеющихся в производстве газовых микротурбин простого цикла. Использование отработанной конструкции компрессора, камеры сгорания и турбины ускоряет и удешевляет разработку нового двигателя, а оборудование его рекуператором позволяет повысить КПД до уровня конкурентов.

Данное направление получило поддержку в законодательных органах власти РФ, и в настоящий момент в Государственной Думе ведется разработка законопроекта «О государственной поддержке автономной (малой) энергетики» [3].

Важными этапами разработки любого двигателя является исследование характеристик его работы на нерасчетных режимах работы – при изменении температуры и давления окружающей среды (климатические характеристики), при работе на режимах частичной мощности (дроссельные характеристики).

Решение этих задач возможно созданием математической модели, описывающей взаимосвязь характеристик работы отдельных элементов двигателя – компрессора, камеры сгорания, турбины, рекуператора.

Такая математическая модель нужна для предварительного определения оптимизации потребительских характеристик двигателя (КПД, мощность, расход топлива, пределы устойчивой работы) на этапе его конструкторской разработки, а в дальнейшем, она ляжет в основу системы автоматического управления двигателем (САУ).

Поставлена задача создания математической модели МГТУ рекуперативного цикла на базе прототипа– двигателя ГТД 0,2 производства ПАО «КАД-ВИ» [4]. Известны и классифицированы 5 уровней математических моделей ГТД [5]. Для построения климатических и дроссельных характеристик проектируемого двигателя необходимо создание математической модели 2 уровня, в которую закладываются характеристики узлов, учитывающих взаимное влияние геометрии и условий работы отдельных элементов на двигатель в целом. Характеристики ряда элементов двигателя известны – это напорная характеристика компрессора, пропускная способность турбины. Они получены экспериментальным путем на двигателе-прототипе и представлены в виде табличных или графических зависимостей. Характеристики вновь разрабатываемых элементов ГТД – рекуператора, входного и выходного устройств неизвестны и их требуется получить расчетным путем.

Основные этапы разработки математической модели ГТД рекуперативного цикла:

- Создание математического описания элементов ГТД с двигателя-прототипа путем аппроксимации имеющихся табличных и графических зависимостей;
- Разработка математической модели рекуператора на основе его поверочного расчета на основе критериальных уравнений конвективного теплообмена [6];



- Разработка математической модели входного и выходного устройств на основе разработанных 3D-моделей и их аэродинамических характеристик полученных в CFD-пакетах.
- Создание системы уравнений увязывающей между собой отдельные элементы двигателя на основе основополагающих уравнений теплового и материального баланса [7].

Планируется практическая реализация полученной математической модели в виде компьютерной программы.

### Список литературы

- [1]. *Claire Soares* Microturbines. Application for Distributed Energy Systems, 2007.
- [2]. *Bernard Kolanowski*. Guide to Microturbines, 2004.
- [3]. Проект законопроекта «О государственной поддержке автономной (малой) энергетики» <https://g-k-h.ru/directory/legal-acts/project-small-energy/>. Дата обращения 06.11.2021.
- [4]. Силовой модуль ГТД 0.2. Официальный сайт ПАО «КАДВИ» <http://gtes.kadvi.ru/power-module/silovoj-modul-gtd-02/>. Дата обращения 06.11.2021.
- [5]. *Титов А.В., Осипов Б.М.* Классификация математических моделей ГТД по уровню сложности. Международный научный журнал «Инновационная наука» №11-2/2016. с.70-72.
- [6]. *Бродов Ю.М.* Теплообменники энергетических установок /Ю.М. Бродов, К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков и др. ИД «Сократ», 2002 г. 965 с.
- [7]. *Кулагин В.В.* Теория расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок : учебник – М: Машиностроение, 2003. – 616 с.

**Назаров Евгений Сергеевич** – студент, ПАО «КАДВИ». E-mail: [nazarov3123@gmail.com](mailto:nazarov3123@gmail.com)

**Шевелев Д.В.** –

## ПЕРВИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ МАРСИАНСКОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Задачи подвода и отвода теплоты в цикле любой энергетической установки являются ключевыми для возможности её реализации. Для энергоустановки, работающей в условиях планеты Марс, имеющей крайне разреженную и холодную собственную атмосферу, состоящую преимущественно из углекислого газа, проблемы подвода и отвода тепла стоят крайне остро [1,2].

Первичный источник энергии для марсианской энергетической установки электрической мощностью более 100 кВт должен длительно обеспечивать максимальную постоянную температуру цикла, как правило, более 900...1000 К. Кроме того, доставка такой энергоустановки на Марс накладывает на нее серьёзные массогабаритные ограничения. На сегодняшний день наиболее перспективными двигателями такой установки видится либо ГТУ замкнутого цикла (ЗГТУ), либо ПТУ на низкокипящем теплоносителе.

Далее рассмотрены потенциально возможные источники тепловой энергии таких установок с точки зрения их работы на поверхности Марса.

**Приёмник-аккумулятор солнечной радиации.** Солнечная энергия, собранная в концентраторе, нагревает рабочее тело до требуемой температуры. Для уменьшения непостоянства нагрева используют тепловой аккумулятор – теплообменник, заполненный расплавленным теплоносителем, имеющий высокую температуру плавления (например, гидрид лития  $\text{LiH} - T_{пл} = 965\text{K}$ , фторид натрия –  $T_{пл} = 1269\text{K}$ ). Такой источник энергии не требует дополнительной массы топлива, однако это компенсируется чрезмерно большими массогабаритными характеристиками концентратора, а также дополнительной массой аккумулятора. Плотность потока солнечного излучения на поверхности Марса в ~2 раза меньше земного, пропорционально возрастут габариты концентратора. Нельзя исключать влияние сезонных пылевых бурь, ещё более уменьшающих лучистый поток. Такой источник тепла представляется неперспективным для Марса.

**Горелочные устройства.** Традиционные для Земли источники тепла химического сжигания топлива. Для Марса, в атмосфере которого отсутствует кислород, для организации горения нужны и горючее, и окислитель. Расчеты показывают, что невозможно обеспечить длительную работу марсианской энергоустановки на привезенном с Земли топливе. Существует потенциальная возможность использования углекислого газа атмосферы Марса в качестве окислителя, но проблема горючего пока не решена.

**Радиоизотопный элемент.** В отличие от ядерного реактора, использующего явление цепной ядерной реакции, в радиоизотопном генераторе используется естественный распад радиоактивных изотопов. Такой источник теплоты непрерывно выделяет энергию в течении нескольких лет или десятков лет, интенсивность которой невозможно уменьшить. Радиоизотопные источники

энергии имеют небольшую массу радиационной защиты, что является преимуществом при доставке на Марс. Однако получить большую единичную мощность (более 20 кВт) энергоустановки с радиоизотопным источником сложно из-за его очень большой массы.

**Ядерный реактор.** Современные ядерные реакторы способны обеспечить максимальную температуру в цикле энергоустановки до  $T_m = 1200...1300K$ , что соответствует требованиям ЗГТУ. С небольшим по массе ядерным реактором можно получить любую требуемую мощность марсианской энергоустановки. Ядерный реактор – источник мощного нейтронного и рентгеновского излучений, требующего значительной массы радиационной защиты, которая может сравниться с суммой масс остальных элементов энергоустановки. Для уменьшения этой массы возможно применение теневой защиты, направленной только в сторону пребывания космического экипажа [3].

ЗГТУ хорошо сочетаются с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами (ВТГР). Высокие температуры газа также возможно получить в реакторах на быстрых нейтронах с гелиевым охлаждением. К далёкой перспективе относят возможность применения в ЗГТУ термоядерного реактора.

Таким образом, наиболее перспективным источником первичной тепловой энергии для энергоустановки, работающей на Марсе, представляется ядерный реактор.

### Список литературы

- [1]. Мороз В.И. Физика планеты Марс. - Москва: Наука, 1978. - 351 с.
- [2]. ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА ХОЛОДИЛЬНИКА-ИЗЛУЧАТЕЛЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРЫ МАРСА, Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы региональной научно-технической конференции, 20–21 апреля 2021 г. Т. 1. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. – 251 с., с. 164-167
- [3]. Куландин А.А., Тимашев С.В., Атамасов В.Д. Основы теории, конструкции и эксплуатации космических ЯЭУ: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1987. - 328 с.

**Козырев Алексей Александрович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248030, Россия. E-mail: kozyyreevaa@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

## СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА

Стремление к созданию высокоэффективных насосных установок идет по пути увеличения эксплуатационных показателей, а именно повышения рабочего давления, уменьшения шума, понижения потребления энергии и повышения надежности при эксплуатации.

Несмотря на то, что шестеренный насос имеет не сложную конструкцию, его проектирование, направленное на последующие повышение выходных характеристик и увеличения его долговечности, считается довольно сложной научно-технической проблемой.

Одним из основных методов решения этой проблемы является метод оптимизации. Метод оптимизации заключается в создании математической модели, в которой учитывается множество факторов. Например, в математической модели качающего узла нужно учитывать следующие факторы [1]:

- 1) Величину коэффициента перекрытия зубчатого зацепления.
- 2) Величину смещения зубчатой передачи (положительное смещение позволяет повысить контактную прочность зубьев и снизить удельное скольжение колес).
- 3) Радиальный зазор во впадинах колес (радиальный зазор должен быть как можно меньше, это понизит вредный объем рабочей жидкости и повысит КПД насоса).
- 4) Функциональные ограничения: диаметр окружности вершин колеса, толщину головки зубьев шестерни и колеса, недопустимость подрезания зубьев и других видов интерференций.

Для улучшения характеристик шестеренного насоса и повышения долговечности работы можно также использовать диагностическую модель технического состояния шестеренного насоса [2]. С помощью диагностической модели можно учесть: монтажную погрешность сборки и изготовление деталей насоса; возможное увеличение динамической нагрузки, действующие на зубья шестерен; возможное повышение момента сил трения, действующих в паре трения «торцы зубьев шестерен – подпятник» вследствие перекоса шестерен; возможность неэффективной работы разгрузочных канавок, приводящих к увеличению радиальных нагрузок на опоры и дополнительному нагружению рессоры ведущей шестерни; пульсацию давления рабочей жидкости.

Если же необходимо повысить долговечность работы уже изготовленного и работающего насоса, то можно использовать метод восстановления его работоспособности и долговечности путём модификации поверхностей трения и каналов насоса [3]. Метод заключается в следующем: сначала проводят предварительную очистку деталей насосов, с использованием органических растворителей. Поверхности очищают от загрязнений, таких как легкорас-

творимые продукты деструкции антифрикционных и защитных смазок, которыми покрыты шестеренные насосы при их поставке изготовителем. На следующем этапе поверхности очищаются от загрязнений в растворе, состоящем из воды, щелочи, силиката натрия и триэтаноламина в течение 2–х часов, во время кипячения. При этом большая часть загрязнений переходит в соединения, представляющие собой твердые низкомолекулярные вещества, несложно убираемые последующей механической обработкой. После такой обработки на поверхности деталей шестеренного насоса, в результате химического взаимодействия компонентов раствора со сталью, образуются тончайшие пленочные покрытия, представляющие собой устойчивые к окислению соединения, дающие повышенную износостойкость при коррозионно–механическом износе пар трения насосных деталей и препятствующие налипанию технологических загрязнений в сообщающихся каналах насосов.

Таким образом, улучшение эксплуатационных качеств и повышение долговечности шестеренного насоса можно обеспечить на стадии проектирования, с помощью методов оптимизации, на стадии испытаний, применяя диагностические модели, а также на стадии эксплуатации путем модификации поверхностей трения и каналов насоса.

### Список литературы

[1]. *Методики* улучшения характеристик шестеренного насоса// Промышленный импорт. – URL: <https://promvolga.com/publ/uluchshenie-harakteristik-shesterennogo-nasosa>. (Дата обращения 27 октября 2021)

[2]. *Аистов И.П.* Обобщенная модель шестеренного насоса для решения задач диагностирования. / И.П. Аистов, С.А. Морев. // Проблемы механики современных машин: Материалы международной конференции. - Улан-Удэ: ВСГТУ, 2000. - Т.2. - С. 16-17.

[3]. *Марченко С.И.* Повышение долговечности шестеренных насосов путем химического модифицирования поверхностей трения. // Научно-технические конференции. – URL: [http://science-bsea.narod.ru/2011/mashin\\_2011\\_1/marchenko\\_pov.htm](http://science-bsea.narod.ru/2011/mashin_2011_1/marchenko_pov.htm). (Дата обращения 27 октября 2021)

**Лазарев Антон Алексеевич** – студент, бакалавр КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: anton.lazarev.000@mail.ru

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

## **ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ШОКОВОЙ ЗАМОРОЗКИ МЯСА**

В России более половины оборота рынка потребительских товаров страны приходится на продукцию пищевой промышленности. Из них мясная и мясоперерабатывающая отрасли имеют наибольшую значимость, поскольку являются самым крупным сектором продовольственного рынка. Одной из важнейших задач функционирования мясоперерабатывающей отрасли является рациональная организация процесса заморозки мяса необходимого для увеличения срока его хранения с сохранением вкусовых и органолептических свойств. Этим требованиям, во многом, отвечает шоковая заморозка [1].

При традиционной заморозке, процесс замораживания туш и полутуш КРС занимает от 24 до 40 часов. При этом, в мясе образуются кристаллы льда по размерам значительно превышающие размеры клеток мышечных волокон, что приводит к нарушению их целостности. При разморозке такого мяса наблюдаются значительные структурно-механические нарушения, приводящие к снижению потребительской ценности [2, 3]. Этому недостатка лишена шоковая заморозка – процесс быстрого охлаждения мясной продукции со скоростью, при которой происходит эффект микрокристаллизации влаги, размеры образующихся кристаллов небольшие и этим внутренняя структура продукта не разрушается [4].

Известны 5 групп способов замораживания по принципу отвода тепла [5]:

- хладагентом через металлическую поверхность;
- хладаносителем, который предварительно охлаждается хладагентом;
- хладагентом напрямую;
- за счет испарения жидкости продуктов питания в вакууме;
- комбинированный способ.

Обеспечение быстрой, шоковой заморозки полутуш КРС требует завершения процесса замораживания 16-18 часов, что достигается температурой хладагента или хладоносителя до  $-35 \dots -40^{\circ}\text{C}$  со скоростью обдува до 4 м/с.

Для достижения низких температур в морозильных камерах используются холодильные машины. На данный момент на рынке холодильного оборудования доминируют холодильные машины парокомпрессионного типа (ПКХМ). В качестве рабочего тела (хладагента) они используют легкокипящие жидкости (например, фреоны, аммиак). Принципиальная схема парокомпрессионной холодильной машины представлена на рис. 1.

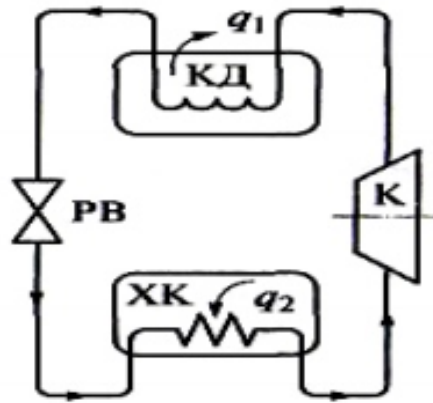


Рис 1. Схема парокompрессорной холодильной установки:  
 КД - конденсатор; К - компрессор; ХК - холодильная камера;  
 РВ - редукционный вентиль

Принцип работы ПКХМ основан на использовании цикла обращенного теплового двигателя [6]. Газообразный хладагент сжимается в компрессоре. При дальнейшем охлаждении в конденсаторе, хладагент меняет фазовое состояние и превращается в жидкость. Далее он подается в дросселирующее устройство где происходит его вскипание, сопровождающееся значительным понижением температуры. Передача тепла хладагенту осуществляется в холодильной камере через стенку либо непосредственно от охлаждаемой продукции, либо от хладоносителя.

Для шоковой заморозки туш КРС требуются морозильные камеры значительных размеров, обдуваемых значительными объемами хладоносителя. Промышленное контактное охлаждение столь крупной мясной продукции затруднительно и экономически нецелесообразно.

Известны работы, в которых утверждается, что для шоковой заморозки могут быть использованы и экономически целесообразны воздушно-холодильные машины (ВХМ) [7] (рис. 2).

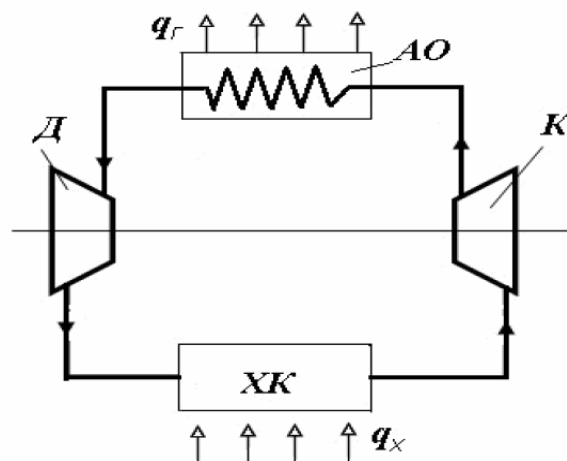


Рис 2. Схема ВХМ:  
 Д – детандер; К – компрессор; ХК – холодильная камера;  
 АО – атмосферный теплообменник

Принцип действия ВХМ основан также на использовании цикла обращенного теплового двигателя, но, в отличие от ПКХМ, хладагентом в ней является атмосферный воздух, который после расширения в детандере может непосредственно подаваться в холодильную камеру и обдувая мясные туши их охлаждать. Это делает устройство холодильных камер более простым, а рабочий процесс – более надежным.

Вторым значимым достоинством ВХМ является их экологическая безопасность. В Постановлении Правительства РФ [8] приняты обязательства сократить объем потребления гидрофторуглеродов с 2020 года на 5%, с 2025 года – на 35%, с 2036 года – на 85%, что не может быть достигнуто без снижения доли ПКХМ работающих на фреонах на рынке холодильного оборудования.

Устройство ВХМ основано на использовании технологий турбомашиностроения, так компрессор и детандер – это турбомашины. В качестве привода компрессора ВХМ может быть использован газотурбинный двигатель.

Поставлена задача расчета и проектирования ВХМ на базе двигателя МСУ-800 производства ПАО «КАДВИ» [9]. Для этого потребуется:

- определить возможную холодопроизводительность при использовании привода компрессора ВХМ ГТД мощностью 800 кВт, и атмосферного воздуха для охлаждения хладагента;
- определить оптимальную частоту вращения выходного вала силовой турбины ГТД для обеспечения высокого КПД компрессора ВХМ;
- спроектировать компрессор и детандер ВХМ.

### Список литературы

[1] *Кирюхина А.Н.* Исследование влияния технологических факторов на товароведные свойства замороженных тестовых полуфабрикатов и булочных изделий из них: дис. канд. техн. наук: 05.18.15.- Кемерово, 2005.- 177 с.- РГБ ОД, 61:05-5/4287.

[2] *Leygonie C., T.J. Britz, and L. C. Hoffman.* 2012. Impact of freezing and thawing on the quality of meat . Meat Sci. 91:93–98. (Review)

[3] *M.C. Añón, A. Calvelo.* Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. MeatScience, 4 (1980), pp. 1–14.

[4] *Крал М., Хонзиркова К., Постич М.* Влияние традиционного или шокового замораживания на потери при размораживании и структурно-механические характеристики говядины. Теория и практика переработки мяса. №1, 2016, с. 6-9.

[5] *Сороко О. Усеня Ю.* Анализ способов замораживания пищевых продуктов. Наука и инновации, №5 (99), 2011. с.63-67.

[6] *Ибраев А.М., Сардеев А.А.* Теоретические основы холодильной техники – Монография / Нижнекамск, 2012. – 124с.

[7] *Старостин А.П., Соколов К.К.* Сравнение воздушных и пароконденсационных холодильных машин - [http://www.holodilshchik.ru/index\\_holodilshchik\\_issue\\_7\\_2010\\_Sravnenie\\_VHM\\_PCHM.htm](http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_7_2010_Sravnenie_VHM_PCHM.htm)



[8] *Постановление* Правительства РФ от 25 марта 2020 г. № 333 "О принятии Российской Федерацией поправки к Монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой" <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73706908/> (Дата обращения 07.11.2021)

[9] *Силовой* модуль МСУ-800 Официальный сайт ПАО «КАДВИ» <http://gtes.kadvi.ru/power-module/modul-silovoj-universalnyj-msu-800/>. Дата обращения 06.11.2021.

**Алферин Даниил Борисович** - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: dan.alf@mail.ru

**Шевелев Денис Владимирович** – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: Denis.V.Shevelev@gmail.com

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ

Введение Скоростью звука принято называть скорость распространения малых возмущений в упругой среде. Звук, от своего источника, распространяется в виде слабых волн давления в виде сферических поверхностей.

Аналитическое выражение, определяющее скорость распространения звуковой волны, может быть получено с использованием первой теоремы Эйлера об изменении количества движения выделенного объема жидкости [1].

$$a^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho}. \quad (1)$$

Как следует из (1) звуковая волна представляет собой зону локального изменения плотности  $\rho$  и давления жидкой среды  $p$  распространяющуюся в пространстве.

Для получения формулы, доступной для практических расчетов, необходимо установить взаимосвязь давления и плотности среды во фронте звуковой волны.

В 1687 году, английский ученый И. Ньютон предположил [2], что распространение звуковых волн представляет собой изотермический процесс ( $T = \text{const}$ ) и давление и плотность во фронте звуковой волны связаны между собой уравнением Бойля-Мариотта [3]:

$$\frac{p}{\rho} = \text{const}. \quad (2)$$

С использованием выражения (2) аналитическое выражение для скорости звука (1) приобретает вид:

$$a_n = \sqrt{\frac{p}{\rho}} = \sqrt{RT}, \quad (3)$$

где  $R$  – газовая постоянная, Дж/(кг·К).

В начале XIX века французский математик и физик Лаплас предположил, что в процессе распространения звуковой волны в воздухе, в результате изменения давления и плотности среды, происходит локальное изменение температуры и этот процесс близок к адиабатному, когда теплота из фронта волны не диссипирует в окружающую среду. В этом случае давление и плотность во фронте звуковой волны связывает уравнение адиабатного процесса [3]:

$$\frac{p}{\rho^k} = \text{const}. \quad (4)$$

С использованием выражения (4) аналитическое выражение для скорости звука (1) приобретает вид:

$$a_{\text{л}} = \sqrt{kRT}. \quad (5)$$

Постановка задачи. Целью работы являлось экспериментальное исследование распространения скорости звука в воздухе, и сравнение полученных результатов со значениями, полученными по формулам Ньютона (3) и Лапласа (4).

Методика проведения эксперимента. Схема проведения экспериментальных исследований представлена на рис.1.

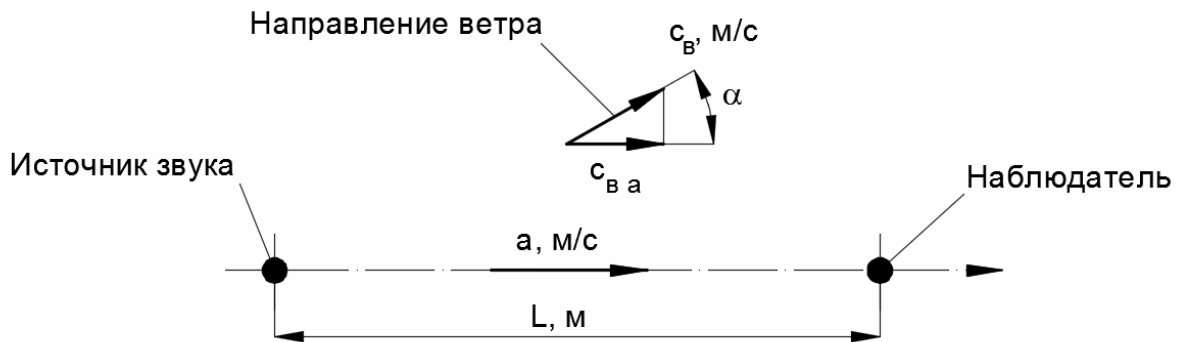


Рис. 1. Схема измерения скорости звука

Источником звука являлся взрыв небольшой петарды. На расстоянии  $L=1000$  м от источника звука находился наблюдатель с секундомером имеющим точность  $\Delta\tau=\pm 0,1$  с. Сигналом к началу отсчета времени являлось зажигание источника света одновременно со взрывом петарды, а моментом выключения секундомера – регистрация звука наблюдателем.

Синхронное зажигание источника света одновременно со взрывом петарды осуществлялось с помощью электронного устройства, принципиальная схема которого приведена на рис. 2

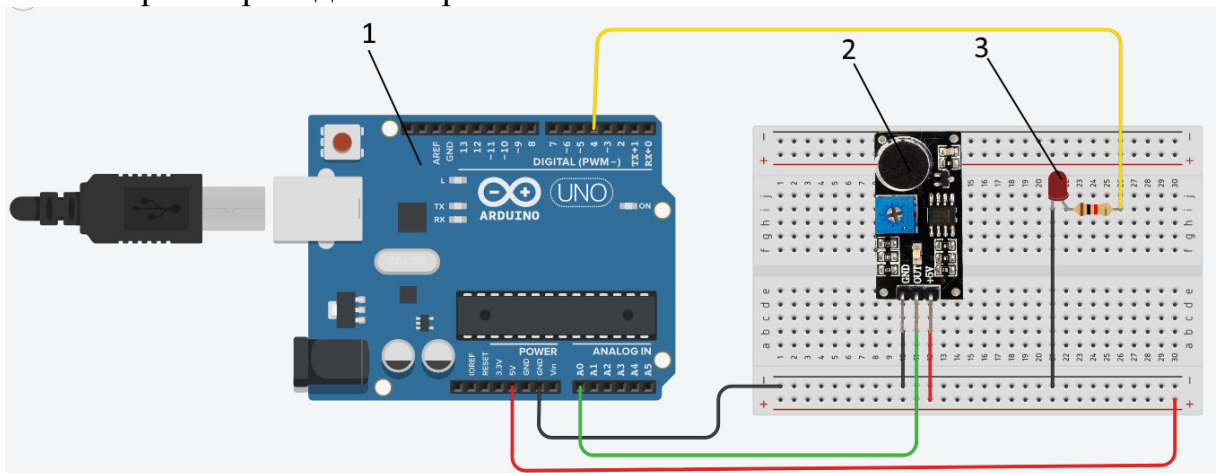


Рис. 2. Схема синхронизации зажигания света взрыва петарды:

1 – микроконтроллер ArduinoUNO, 2 – микрофон, 3 – источник света

Регистрация звука осуществлялась с помощью микрофонного датчика LM393. Разработанный программный код для микроконтроллера ArduinoUNO [4], в режиме реального времени производил обработку полученного сигнала – отсекал фоновый шум путем программного фильтра. Как только входной сигнал, поступающий с микрофона, превышал среднее значение

шума, подавался цифровой сигнал на зажигание источника света продолжительностью 5 секунд.

Для учета влияния ветра на скорость распространения звуковой волны, осуществлялась регистрация его скорости  $c_{\text{в}}$  с помощью чашечного анемометра и оценка его направления по отношению к оси источник звука- наблюдатель  $\alpha$  °.

Для уменьшения влияния случайных ошибок, влияющих на процесс измерения, измерение времени прохождения звуковой волны осуществлялось 5 раз.

Для сравнения экспериментально полученной скорости звука с теоретической, параллельно измерялась температура атмосферного воздуха  $t$ , °С.

*Методика обработки результатов экспериментальных исследований.* Так как скорость света многократно превышает скорость звука, то время запуска секундомера можно считать одновременным с возникновением звуковой волны. Таким образом, измерив время прохождения звуковой волны расстояния  $L$ , можно определить скорость  $a$

$$a = \frac{L}{\tau} - c_{\text{в}} \cos \alpha. \quad (6)$$

Расчетные значения скорости звука определялись по формулам (3) и (5), значение газовой постоянной  $R$  для воздуха принималось согласно ГОСТ 10921-2017 в зависимости от температуры и влажности атмосферного воздуха.

*Результаты.* В табл. 1 представлены результаты экспериментальных исследований и сравнение их с аналитическими зависимостями

Таблица 1.

### Результаты эксперимента

№ изм.	$\tau$ , с	$c_{\text{в}}$ , м/с	$\alpha$ , °	$t$ , °С	$a$ , м/с	$\bar{a}$ , м/с
1	2,8	4	45	13	354	360
2	2,6	4	45	13	382	
3	2,8	4	45	13	354	
4	2,7	4	45	13	367	
5	2,9	4	45	13	342	

Скорость звука по Ньютону, м/с:

$$a_{\text{н}} = \sqrt{R(t + 273)} = \sqrt{288 \cdot 286} = 287.$$

Скорость звука по Лапласу, м/с:

$$a_{\text{л}} = \sqrt{kR(t + 273)} = \sqrt{1,4 \cdot 288 \cdot 286} = 340$$

*Выводы.* Экспериментально установлено, что измеренная скорость звука в воздухе при температуре  $t=13$ °С равна  $\bar{a}=360$  м/с. Данное значение хорошо согласуется со значением полученным по формуле Лапласа  $a_{\text{л}}=340$  м/с.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что процесс распространения звуковых волн в воздушной среде близок к адиабатному и гипотеза Лапласа верна.

### Список литературы

- [1] *Сергель О.С.* Прикладная гидрогазодинамика. – М.:Машиностроение, 1981. – 374 с.
- [2] *Ньютон Исаак.* Математические начала натуральной философии. – М.:Наука, 1989. –711 с.
- [3] *Нащокин В.В.* Техническая термодинамика и теплопередача. – М. Высшая школа, 1975 . – 497 с.
- [4] *Официальный сайт проекта Arduino* <https://www.arduino.cc/index.php> (Дата обращения 07.11.2021)

**Жариков Артем Андреевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [artemzhrk@gmail.com](mailto:artemzhrk@gmail.com)

**Кашанов Никита Андреевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [nkashanov@gmail.com](mailto:nkashanov@gmail.com)

**Резчиков Владислав Русланович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [vladislavrezcikov2011@gmail.com](mailto:vladislavrezcikov2011@gmail.com)

**Научный руководитель: Шевелев Денис Владимирович** – КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [denis.v.shevelev@gmail.com](mailto:denis.v.shevelev@gmail.com)

## **СЕКЦИЯ 6.**

### **ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ**

А.Н. Дросков

## **АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ ГОРОДА НА ПОДЗЕМНЫЕ ИСТОЧНИКИ**

### **Загрязнения и их источники**

Загрязнение подземных вод – изменение физических, химических и биологических свойств воды, ограничивающих или исключающих её использование в различных направлениях, где она обычно играет существенную роль. Загрязняющие вещества, содержащиеся в отходах, образованных в результате деятельности человека, проникают в подземные воды и могут вызвать различные виды загрязнений [7].

По характеру проявления и последствиям различают следующие загрязнения подземных вод: химическое, бактериальное, радиоактивное, тепловое, бытовыми отходами.

Главный источник – промышленные стоки, вода из которых поступает в водоносные горизонты из отстойников, накопителей и т.д. Загрязнение может происходить также за счёт распространения загрязняющих веществ на местах складирования и хранения нефтепродуктов, сброса сточных вод в поглощающие скважины в результате закачивания промышленных стоков в глубокие горизонты и др.

### **Загрязнение подземных вод г.Калуга**

В г. Калуга высокоразвитая промышленная индустрия. 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 «КАДВИ», ПО «Тайфун», КРЛЗ, «Аромсинтез», «Калужский турбинный завод», «Калуга-путьмаш», КЗАМЭ и др.) содержатся: чрезвычайно опасные (I класс опасности) хлорорганические соединения, пентасернистый фосфор, цианиды, окислы меди, хрома, кадмия, ртути и др. тяжелые металлы;

Высокоопасные оксиды 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.

Загрязнению гидросферы существенно способствует деятельность сельскохозяйственных предприятий, разработка карьеров, наличие городских свалок, трубопроводы и транспортные хозяйства. В городе зарегистрировано более 10 тыс. источников выбросов вредных веществ в атмосферу и десятки – в поверхностные воды.

Наибольшую опасность для населения г. Калуги представляют следующие химически опасные объекты, относящиеся к III степени опасности: ЗАО (НП) «Калужский мясокомбинат» (площадь зоны возможного загрязнения – ЗВЗ составляет 12,3 км<sup>2</sup>, количество населения, попавшего в ЗВЗ – 10,3 тыс. чел.); хладокомбинат» (площадь ЗВЗ – 2,9 км<sup>2</sup>, количество населения, попавшего в ЗВЗ – 6,2 тыс. чел.); (площадь ЗВЗ – 3,87 км<sup>2</sup>, количество населения, попавшего в ЗВЗ – 8,1 тыс. чел.);

- «Пивоваренная компания» (площадь ЗВЗ – 5,79 км<sup>2</sup>, количество населения, попавшего в ЗВЗ – 14,2 тыс. чел.).

Особую опасность возникновения чрезвычайных экологических ситуаций, связанных с разливами нефтепродуктов, представляют 7 организаций регионального уровня, на которых хранится 69 тыс. м<sup>3</sup> нефтепродуктов и 10 организаций территориального уровня (35,492 тыс. м<sup>3</sup> нефтепродуктов), а также, при возникновении аварии с разрывом продуктопровода, Плавск-Калуга.

### **Результаты исследований**

Комплексные геолого-экологические исследования территории г. Калуги, проводимые специализированными организациями, позволяют отметить наличие полиэлементных аномалий в почве, степень загрязнения которого по суммарному показателю колеблется от слабой до чрезвычайно опасной. Площадь последней составляет 0,5% городской застройки. Распределение загрязнения по площади имеет мозаичную структуру, связанную с аэрозональным переносом загрязняющих веществ.

Грунты зоны аэрации и грунтовые воды загрязнены в меньшей степени. Небольшие отклонения, порядка 2-4 ПДК по кадмию, свинцу, никелю, марганцу, обнаружены в скважинах и колодцах в северо-западном районе г. Калуги (район «Дубрава», Подзавалье). Бактериологическое и химическое загрязнение грунтовых и подземных вод выявлено во многих скважинах.

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<sub>2</sub><sup>-4</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>S 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.

Процентное содержание рассчитывается для каждого вещества, независимо от других веществ. Для каждого вещества за 100% принимается его содержание в сбросе.

Особую опасность для загрязнения поверхностных и подземных вод представляют фильтраты биохимического разложения не санкционированных свалок 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 15км), загрязненные фильтратами полигонов грунтовые воды попадают в нижележащие горизонты подземных вод, не имеющих надежных водоупорных покрытий из глинистых высокодисперсных грунтов.

Эти воды не могут использоваться для питьевого водоснабжения населения, проживающих в зоне воздействия полигонов.

Потенциальным источником чрезвычайных ситуаций на территории города и области может стать аварийный или несанкционированный сброс неочищенных хозяйственно-бытовых сточных вод в р. Оку и ее притоки с очистных сооружений городов.

### **Выводы**

С приходом технологий и внедрением инноваций все больше растет и уровень воздействия человека на природу. И за частую это вмешательство негативно сказывается на экологии. Влияние промышленности на качество подземных вод - столь важного природного ресурса, делает проблему антропогенного вмешательства невероятно значимой в современном мире.

На территории Калуги осуществляется активная политика, касающаяся охраны окружающей среды. Все мероприятия направлены на обеспечение наиболее благоприятных условий. Таким образом, введена информационно-аналитической системы под названием «Экологический мониторинг», которая была создана на фирме «Экоаналитика».

### **Список литературы**

[1]. *Water Resources Education Network [Электронный ресурс] // Groundwater: A Primer for Pennsylvanians, 2011. URL: <http://wren.palwv.org/pubs/primer.html> (дата обращения: 05.11.2021).*

[2]. *Федеральное* агентство водных ресурсов [Электронный ресурс] // Государственные доклады / Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году», 2020. URL: <https://voda.gov.ru/regulatory/list.php?part=342> ([https://voda.gov.ru/upload/iblock/4ef/2019\\_gosdoklad\\_voda2018\\_new\\_09122019.pdf](https://voda.gov.ru/upload/iblock/4ef/2019_gosdoklad_voda2018_new_09122019.pdf)) (дата обращения: 05.11.2021).

[3]. *Бешенцев В.А., Трофимова Н.С.* Экологическая гидрогеология. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 80 с.

[4]. *Вернадский В.И.* Избр. соч. Т. IV. Кн. 2. – М.: Издательство Академии Наук СССР, 1960. – С. 24.

[5]. *Гаев А.Я., Килин Ю.А., Тихоненко М.А.* Фундаментальные и прикладные проблемы гидросферы. Часть 2. Экологические проблемы. Глава 7. Истощение водных ресурсов и меры по минимизации этой опасной тенденции. – М.: Университетская книга, 2020.

[6]. *Григорьева И.Ю.* Геоэкология. – М.: ИНФРА-М, 2021. – С. 125-126.

[7]. *Дроздов В.С., Карпенко Н.П., Ломакин И.М.* Гидрогеология и основы геологии. – М.: ИНФРА-М, 2020. – С. 310-318.

[8]. *Квитка Л.А., Орлов В.А.* Водоснабжение. Глава 2. Загрязнения водных источников и проблема получения чистой воды. – М.: ИНФРА-М, 2021.

[9]. *Орлов М.С., Питьева К.Е.* Гидрогеоэкология городов. Глава 1.2.2. Общие сведения об источниках загрязнения и компонентах-загрязнителях подземных вод. – М.: ИНФРА-М, 2020. – С. 20-21.

[10]. *Рудский В.В., Стурман В.И.* Основы природопользования. Глава 3.2.7. Охрана поверхностных вод суши. – М.: Логос, 2020.

[11]. *Биль И.И.* Загрязнение поверхностных и подземных вод г.Калуги.

Производственный НИИ по инженерным изысканиям в строительстве. – М.: 2018.

**Дросков Артём Николаевич** – студент ИУК7-71Б КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [artem.droskov@mail.ru](mailto:artem.droskov@mail.ru)

## ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Основанное развитие мировой энергетики и углеродно-нейтральной экономики уже видно: под влиянием изменений в энергополитике и развития новых технологий, мир входит в этап 4-го энергетического перехода, т.е. к широкому использованию возобновляемых источников энергии и вытеснению ископаемых видов топлива. Однако темпы этих изменений и скорость переходасвязаны с высокой неопределенностью.Рост мирового первичного энергопотребления существенно замедлится к 2040 г., в том числе за счет энергоэффективности [1].

Электроэнергетика стремительно преобразуется. Быстро развивается. Экспорт ископаемых энергоресурсов сегодня является важнейшей составляющей экономики России. Но именно топливно-энергетический комплекс ипроисходящие в нём преобразования могут дать стране новый импульс для развития и роста ВВП за счетреализации огромного потенциала энергосбережения. Новые возможности к новому энергопереходу ограничены 7-10 годами [1].

И на этапе 4-го энергетического перехода основным драйвером становится не столько экономическая привлекательность новых источников энергии, сколько качественно новый фактор – декарбонизация энергоемкого производства [1].

Одним из наиболее энергоемких производств является металлургическое производство и разнообразие используемых энергетических ресурсов: для производства одной тонны проката, расходуется до 1,5 тонн условного топлива, до 500 кВт ч электроэнергии, до 300 тонн воды, до 2000 м<sup>3</sup> сжатого воздуха, до 90 м<sup>3</sup> кислорода. В себестоимости металлургической продукции энергозатраты составляют до 60%.

Металлургические предприятия являются не только одними из крупных потребителей энергоресурсов, необходимых для осуществления технологических процессов, но также и производит её в виде вторичных энергоресурсов (ВЭР).

Основные виды твердого и жидкого топлива [2]:

- кокс – основное технологическое и энергетическое топливо для доменных печей и вагранок, теплота сгорания  $\approx 29$ МДж/кг (около 7000 ккал/кг), содержание влаги до 5%, золы до 10%, серы до 2%. Кокс представляет собой продукт сухой перегонки коксующихся марок каменных углей;
- коксовые отходы – технологическое топливо в ферросплавном и агломерационном производстве;
- энергетический уголь (каменный, бурый) используют для получения пара в энергетических котлах, а также как заменитель дорогостоящего кокса в до-

менных печах (теплота сгорания  $Q^P_H$  каменного угля 20–29 МДж/кг, бурого 11–13 МДж/кг);

- мазут – жидкое топливо, продукт переработки нефти, теплота сгорания  $\approx 40$  МДж/кг. Используется в технологических процессах (как самостоятельное топливо), а также с целью экономии кокса и природного газа, в энергетическом хозяйстве – как резервное топливо.

Структура газообразного топлива: доменный газ, коксовый газ и природный газ:

- доменный газ – образуется при выплавке чугуна, имеет низкую теплоту сгорания ( $\approx 3,5-4,5$  МДж/м<sup>3</sup>), но является важной составляющей теплового баланса завода из-за больших объемов. Основные потребители - доменные воздухонагреватели, энергетические котлы, коксовые батареи, нагревательные печи;

- коксовый газ – побочный продукт при производстве кокса. Имеет теплоту сгорания  $\approx 15-18$  МДж/м<sup>3</sup>. Используется для отопления нагревательных печей прокатных цехов, коксовых батарей, котлоагрегатов;

- конвертерный газ – побочный продукт конвертерной плавки стали, теплота сгорания 8-10 МДж/м<sup>3</sup>, в основном состоит из СО; из-за взрывоопасности, непостоянства состава и нестабильности подачи в промышленных масштабах практически не используется;

- природный газ – высококачественное покупное топливо, на 95-99% состоит из метана (СН<sub>4</sub>), теплота сгорания  $\approx 35$  МДж/м<sup>3</sup>. Основные потребители: печи прокатных цехов и энергетические установки, мартеновские печи (для тех предприятий, где они еще используются) и доменные печи [2-4].

Существенную часть в топливном балансе занимает доменный газ. Высокая энергоемкость металлургического производства заставляет рационально использовать вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) образующиеся, как часть технологического процесса. Доменный газ используют для нагревательных печей прокатного цеха, а также для нагрева доменных воздухонагревателей. Состав доменного газа сильно зависит от степени обогащения дутья кислородом, количества вдуваемого природного газа, температуры дутья и ряда других факторов. Средний состав газов принят согласно литературным данным [3].

Средний состав доменного газа: 16—20% СО<sub>2</sub>; 23—27% СО; 45—54% N<sub>2</sub>; 2—6,2% Н<sub>2</sub>; 0,2—0,4% СН<sub>4</sub>. Калорийность данного газа сама низкая.

Коксовый газ — продукт высокотемпературной перегонки каменного угля, очищенный от влаги, смолы, бензольных углеводородов и аммиака, — используется для отопления мартеновских печей.

Средний состав коксового газа: 2,3—2,7% СО<sub>2</sub>; 6,8—7,5% СО; 2,5% N<sub>2</sub>; 24—26% СН<sub>4</sub>.

Это высококалорийный газ, его теплотворная способность позволяет сжигать газ в холодном состоянии.

Природный газ — самый высококалорийный, применяют его для отопления мартеновских печей и вдувания в доменные печи. Состав природного газа разных месторождений различается содержанием углеводородов и серы.

Средний состав природного газа: 0,2—0,7%  $\text{CO}_2$ ; 3—10%  $\text{N}_2$ ; 88—98%  $\text{CH}_4$ ; 0,1—3%  $\text{C}_n\text{H}_n$ .

Доменный коксовый и природный газы имеют различный химический состав, свойства и стоимость за 1000 м<sup>3</sup>. Использование различных соотношений, сжигаемых в газах, меняет КПД многотопливного котла и изменяет стоимость 1 Гкал тепловой энергии. Смесь всех этих видов газов составляют структуру топлива, применяемого в металлургическом производстве.

Например, мартеновскую плавку нельзя осуществить, если применять только доменный газ, так как в этом случае из-за его низкой калорийности потребуются огромные расходы газа и как следствие воздуха. Смесь доменного, коксового и природного газов является наиболее выгодным топливом с точки зрения как общей экономики, так и теплотехники. Смешения газов заключается в том, что к доменному газу прибавляют коксовый газ в таком количестве, чтобы его углеводороды могли в возможно большей степени восстановить  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  доменного газа. Избытки доменного и коксового газов утилизируются на многотопливных котлах теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) предназначенных для выработки тепловой и электроэнергии, используемой в металлургическом производстве.

Утилизация доменного и коксового газов в процессе производства электроэнергии снижает себестоимость 1 кВт·ч по сравнению с сжиганием на котлах природного газа, который является покупным ресурсом для металлургического производства. Задачей ТЭЦ является максимальная генерация собственной электроэнергии с минимальной стоимостью 1 кВт·ч и 1 Гкал тепловой энергии.

Потребление природного газа обусловлено тем, что невозможно обеспечить необходимую производительность котлов только за счет доменного и коксового газов. Их суммарной теплотворной способности не хватит для обеспечения тепловой энергии для нагрева требуемого количества пара. Одной из таких задач является проблема оптимального перераспределения мощности между энергоблоками электростанции с целью достижения минимального расхода топлива [5].

Энергетический сектор обычно является наиболее важным при оценке инвентаризации парниковых газов. В России на него приходится более 80 процентов от общего объема выбросов парниковых газов [6].

Количественная и качественные характеристики выбросов в процессе сжигания топлива зависят от типа топлива, его состава и способов сжигания. В образующихся газообразных продуктах содержатся продукты полного окисления горючих элементов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и азот воздуха  $\text{N}_2$ , все они являются парниковыми газами.

Если рассматривать вопрос о снижении выбросов в атмосферу при технологических процессах, то наиболее экологичным топливом считается при-

родный газ, но он является покупным ресурсом, и чем больше в структуре топлива природного газа, тем больше избытков доменного и коксового газов утилизируется дожиганием на свечи в обход технологических процессов, в результате чего суммарный количественный показатель выбросов растет.

Современные системы автоматизации или ручное ведение режима сжигания топлива в многотопливных котлах основаны на полном сгорании топлива  $O_2$ , но при этом не учитывается экономический эффект и количество выбросов в атмосферу при использовании соотношений различных видов топлива. Режимные карты, разрабатываемые на работу энергокотлов согласно требованиям нормативных документов РФ (1 раз в 5 лет) с течением времени теряют свою актуальность при снижении технических характеристик оборудования, например, из-за ухудшения технического состояния котла, что приводит к ухудшению точности прогнозов и снижению экономической эффективности работы оборудования. Поэтому необходимо данный процесс моделировать в реальном времени. Оптимальной моделью в данном случае является, условия, при которых потребление природного газа, дожигание на свечи доменного и коксового газа будет стремиться к минимуму, при этом сохраняя все тепломеханические параметры для выработки тепло- и электроэнергии.

Оптимальная схема применения структуры газообразного топлива для многотопливных котлов ТЭЦ представлена на рис. 1.

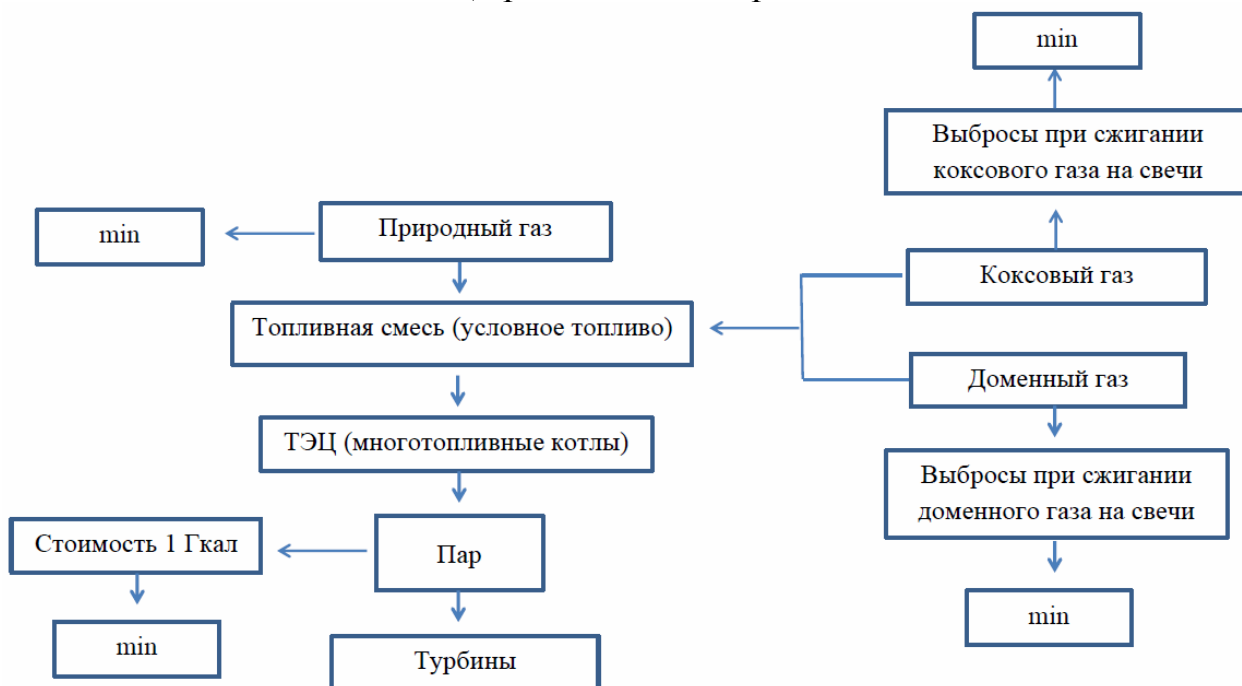


Рис. 1 Схема применения структуры газообразного топлива для ТЭЦ

Внедрение новых технологических решений, оптимального распределения тепловых нагрузок и структуры топлива, позволит эффективнее использовать доменный и коксовый газ, снизить выбросы на свечи в атмосферу и потребление природного газа энергокотлами, и тем самым получить максимальный

эколого-экономический эффект при сжигания оптимизированной структуры топлива.

### Список литературы

[1]. *Макаров А.А., Митрова Т.А., Кулагин В.А.* Прогноз развития энергетики мира и России 2019. ИНЭИ РАН–Московская школа управления СКОЛКОВО, Москва, 2019, с. 210 - ISBN 978-5-91438-028-8

[2] *Черная* и цветная металлургия на metallolome.ru. Научно-технический портал о металлургии, горной промышленности, машиностроении, обработке металлов, энергетике <https://metallolome.ru/toplivo-metallurgicheskikh-pechej/> (дата обращения 05.11.2021).

[3] *Басок Б.И., Курбатов Ю.Л., Бирюков А.Б., Новикова Е.В.* Теплоэнергетика металлургического производства: учебное пособие. Т 34.– Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2013, с. 228.

[4] *Чечеткин А.В., Занемонец Н.А.* Теплотехника: Учеб. для хим.-технол. спец. Вузов. Ч.57., М.: Высш. Шк., 1986. с. 344, ил.

[5] *Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.* Разработка методики расчета оптимального распределения электрической мощности между энергоблоками КЭС. Известия МГТУ МАМИ. 2021. № 2 (48). с. 18-25.

[6] *Жукова Ю.М., Заварзина М.Ю., Прохорова Т.М.* Инвентаризация объемов выбросов и поглощения парниковых газов на территории Калужской области. Научные технологии, 2021, Т. 22. № 1. с. 49-55.

**Жукова Юлия Михайловна** – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: zjuliam@hotmail.com

**Ильичев Владимир Юрьевич** – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: patrol8@yandex.ru

**Шамов Игорь Вячеславович** – менеджер по наладке работы энергетического оборудования ПАО "Северсталь". E-mail: igorshamov35@yandex.ru

## ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПЭТФ

Одна из самых актуальных современных проблем охраны окружающей среды – предотвращение накопления отходов.

По мере того как растет потребление полиэтилентерефталата (ПЭТФ), увеличивается и количество отходов. Отходы образуются уже на стадии производства, а также на всех стадиях переработки (экструзия, литьё, вакуум – формование), и в зависимости от применяемого сырья и технологии производства могут составлять от 0,5 до 2,5% [3].

Основной вклад в количество отходов ПЭТФ для вторичной переработки вносят пластиковые бутылки из-под напитков и других продуктов.

В настоящее время существуют и разрабатываются различные технологии переработки ПЭТФ. Наиболее перспективными направлениями считаются механическая и химическая переработка, каждое из которых характеризуется своими достоинствами и недостатками.

Полиэтилентерефталат – это термопластичный полимер, который относится к группе алифатически-ароматических полиэфиров, которые используются для производства волокон, пищевых плёнок и пластиков, представляющих одно из важнейших направлений в полимерной индустрии и смежных отраслях [3].

В СССР полиэтилентерефталат и получаемое из него волокно называли лавсаном, в честь места разработки – Лаборатории высокомолекулярных соединений Академии Наук.

Пластики на основе полиэтилентерефталата называются ПЭТФ (в российской традиции) либо PET/ПЭТ (в англоязычных странах). В русском языке употребляются оба сокращения, однако когда речь идет о полимере, чаще используется название ПЭТФ, а когда об изделиях из него – ПЭТ.

Многообразие видов отходов ПЭТ связано с массовым применением заготовок (преформ) из ПЭТФ в машиностроении, химической промышленности, пищевом оборудовании, транспортных и конвейерных технологиях, медицинской промышленности, приборостроении и бытовой технике. Для обеспечения лучших механических, физических, электрических свойств ПЭТФ наполняют добавками (стекловолокном, дисульфидом молибдена, фторопластом).

В России ПЭТФ используют, в основном, для изготовления преформ, из которых затем выдуваются пластиковые контейнеры различного вида и назначения (в первую очередь, пластиковые бутылки). В меньшей степени ПЭТФ применяется для переработки в полиэфирное волокно и плёнки. В ми-



ре ситуация обратная: большая часть ПЭТФ идет на производство нитей и волокон.

Важным параметром ПЭТФ является вязкость, которая определяется длиной молекулы полимера. С увеличением параметра присущей вязкости скорость кристаллизации снижается. Также обладает такими качества, как: прочность, износостойкость. ПЭТФ является хорошим диэлектриком.

Основным исходным сырьем для получения ПЭТФ являются терефталевая кислота и этиленгликоль. Их получают из продуктов нефти и коксохимии.

Благодаря широкому спектру свойств, а также возможности управлять его кристалличностью, полиэтилентерефталат находит разнообразное применение и занимает пятое место в мире – 6,5% от объема потребления всех полимерных материалов [4].

Большую часть отходов из полиэтилентерефталата составляют изделия, выбывшие из употребления. К ним относят товары ширпотреба, упаковка, емкости для жидкостей, композиционные материалы и т.п.

Первыми и наиболее важными шагами в рециклинге полимеров являются сбор, сортировка мусора и идентификация типа полимерного материала [5].

Для отделения полимеров от загрязнений используют различные методы: магнитную сепарацию для извлечения железосодержащих материалов; электростатический метод для отделения цветных металлов, главным образом алюминия; воздушную сепарацию; флотацию в резервуарах или гидроциклонах, разделяющих полимеры по плотности. Затем материалы подвергаются дроблению.

Методы возможной переработки полимерных материалов условно можно разделить на механический, химический и термический рециклинг.

В таблице 1 представлена возможная степень загрязнения при утилизации полиэтилентерефталата.

Среди большого количества предлагаемых методов переработки вторичного ПЭТФ, наименее освещён химический. В России ПЭТФ перерабатывается, в основном, механическим рециклингом, т.к. этот способ переработки не требует дорогостоящего специального оборудования и может быть реализован на любом месте накопления отходов. Химический же способ производства относится к более наукоемким производствам, но, тем не менее, является более перспективным, т.к. позволяет получать продукты высокого качества.

На современном этапе функционирования жилищно-коммунального хозяйства ежегодно образуется около 1 млрд. т твердых бытовых отходов (ТБО). Только десятая их часть применяется в качестве вторичных материальных ресурсов. Основная их часть складывается в специальных хранилищах или захоранивается на полигонах. ТБО, площадь которых на современном этапе достигает около 1600 км<sup>2</sup>, а общий объем отходов – 25 млрд. т,

в том числе 4,5 млрд т. из них высокотоксичные [6]. Они являются одним из наиболее весомых факторов загрязнения окружающей среды населенных мест и отрицательно влияют на все ее компоненты: инфильтрация ливневых вод полигонов ТБО в водоносные горизонты, горение терриконов, пылеобразование и др. Все эти факторы, так или иначе, определяют миграцию токсичных веществ, приводят к загрязнению подземных и поверхностных вод, ухудшению состояния атмосферного воздуха, земельных ресурсов и здоровья населения.

Основной удельный вес полимерных отходов в общей массе ТБО составляет приблизительно 27 %, среди которых в значительной части представлены отходы ПЭТФ (около 25 %), основной их источник – это тара для жидких пищевых и непищевых продуктов [6].

С экологической точки зрения у полимеров, как собственно и у большинства синтетических материалов, есть один существенный недостаток: низкий уровень естественной деструкции. Выполнив свое функциональное предназначение, полимеры не разрушаются под влиянием природных факторов на протяжении десятка лет, а при сжигании выделяют ряд токсичных соединений, таких как оксиды углерода, хлороводород, цианистый водород и др.

В табл. 2 приведена сравнительная токсичность продуктов сжигания наиболее распространенных полимерных отходов.

Из данных, представленных в таблице 2, можно сделать вывод, что единственно верное направление использования полимерных отходов – это их вторичная переработка.

Вторичная механическая переработка ПЭТ позволяет делать кровельные материалы, упаковочную ленту, листы, пластиковую плитку и т.п. Вторичный ПЭТ можно использовать в качестве сырья при производстве клеёв, эмалей. Отходы ПЭТ производства (брак, технологические отходы) после переработки на 100% находят своих потребителей. Сложные и дорогостоящие технологии поликонденсации “бутылка-в-бутылку” окупаются за 3-4 года [1].

Сегодня для внедрения утилизации, или рециклинга, необходимо принять федеральную программу обращения с ТБО, финансируемую хотя бы частично правительством РФ. Нужно провести научные и экономические исследования качества вторичного сырья и определить направления его переработки в изделия; создать необходимую инфраструктуру и подготовить грамотных специалистов; организовать сбор вторсырья и его подготовку к переработке; принять государственные и муниципальные законодательные акты, определяющие правовые нормы переработки; обеспечить финансирование проводимых работ бюджетными, муниципальными и спонсорскими деньгами.

Нами проводится эксперимент по внедрению вторичного измельченного ПЭТ в качестве дренажа при посеве горчицы. С целью того, чтобы посмот-

реть, как будет вести себя растение, с учетом того, что в почвенный покров был добавлен различного рода пластмасса.

Таблица 1.

**Основные способы переработки вторичного полиэтилентерефталата [2]**

Способ переработки ПЭТ-отходов	Возможная степень загрязнения отходов	Доля способа переработки в общем объеме перерабатываемых отходов, %	Области применения веществ, полученных в результате переработки
Механический	Низкая и частично средняя	70-75	Для упаковок, производства волокон, конструкционный пластик для автомобилестроения, строительства.
Химический	Средняя	5	Получение полиэфиров для производства клеев, покрытий и исходного сырья для повторного синтеза ПЭТ
Термический	Сильная	20-21	Сжигание для получения тепловой энергии или пиролиз для получения жидких и газообразных топлив.

Таблица 2.

**Токсичность продуктов сжигания полимерных отходов [1]**

Полимерный материал	Токсичность продукта, балл				Суммарная токсичность, балл
	CO	CO2	HCl	HCN	
Полиэтилен	21	1	-	-	22
Полиэтилентерефталат	24	2	-	-	26
Поливинилхлорид	12	1	343	-	356
Полиуретаны	14	1	-	273	287
Полиамиды	17	1	-	931	949
Полиакрилонитрил	7	1	-	1201	1209

**Список литературы**

[1]. Арламова Н. Т. Экологические аспекты переработки отходов полиэтилентерефталата // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2012. – №40. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-aspekty-pererabotki-othodov-polietilentereftalata>

[2]. *Беданок* А.Ю. Способы рециклинга полиэтилентерефталата // Малый полимерный конгресс, Москва, 2005, – 57 с.

[3]. *Гоголь Э. В.* Анализ существующих способов утилизации и переработки отходов полимеров // Вестник Казанского технологического университета. 2013. – №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-suschestvuyuschih-sposobov-utilizatsii-i-pererabotki-othodov-polimerov>

[4]. *Гринин А.С.* Промышленные и бытовые отходы: Хранение, утилизация, переработка. – М.: Изд-во ФАИР-ПРЕСС, 2002. – 149-153 с.

[5]. *Ишалина О.В.* Анализ методов переработки отходов полиэтилентерефталата // Производство и использование эластомеров. 2015. – №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-pererabotki-othodov-poliethylentereftalata>

[6]. *Клинков А.С.* Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 100 с.

**Анфилов Константин Львович** – заведующий кафедрой ИУК7, к.х.н., доцент КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: [kanfilov@yandex.ru](mailto:kanfilov@yandex.ru)

**Моторова Татьяна Сергеевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [motorova2013@yandex.ru](mailto:motorova2013@yandex.ru)

Е.Э. Комарова, М.И. Морозенко

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СБОРА БИОГАЗА НА ПОЛИГОНАХ ТКО**

Поиск альтернативных возобновляемых источников энергии – одно из приоритетных направлений развития современной науки.

Одним из таких источников является биогаз – смесь газов с преобладающим содержанием метана. Его получают путем анаэробного сбраживания органического сырья.

Важное место в этой сфере занимают технологии так называемой «зеленой энергетики», когда для производства топлива или прямого преобразования в тепловую энергию используется энергия, накопленная в биомассе высших растений в результате фотосинтеза.

Обеспечение экологической безопасности полигонов ТКО возможно путем их правильного обустройства и эксплуатации.

Один из эффективных способов обеспечения экологической безопасности полигонов ТКО – это сбор биогаза с последующим его энергетическим использованием.

В результате применения данного метода происходит снижение экологического ущерба, наносимого окружающей природной среде, а также возможная генерация тепловой или электрической энергии при использовании метаносодержащего газа в энергетических установках.

Утилизация биогаза на полигонах ТКО требует инженерного обустройства полигона (создание изолирующего экрана, газовых скважин, газосборной системы и др.).

Наиболее распространенная система сбора биогаза состоит из сети вертикальных скважин, связанных между собой горизонтальными трубами, которые собирают получаемый биогаз и подают его на свечу или в оборудование для энергетического использования.

Скважины могут буриться, когда свалка полностью или одна из ее секций заполнены. Также скважины могут сооружаться постепенно, по мере заполнения отходами работающей свалки.

При помощи горизонтальной связи вертикальных скважин в нижней их части извлечение биогаза может начаться уже во время заполнения свалки.

Горизонтальные системы для извлечения биогаза могут быть размещены в поверхностных слоях свалки на глубине 2–4 метра.

На глубоких свалках с целью увеличения эффективности сбора совместно используют вертикальные скважины и горизонтальные коллекторы.

Система сбора биогаза должна включать конденсатосборники (КС), количество которых определяется геометрией свалочного тела и газосборных коллекторов.

В случае расположения КС за пределами участка захоронения ТКО, конденсат должен возвращаться на полигон или же подаваться в систему обработки и удаления фильтрата [3].

Карта полигона оборудуется скважинами. Отвод биогаза от скважин осуществляется по дегазационным трубопроводам к газосборному пункту.

Разряжение в газопроводах создается за счет установки вакуум-компрессора, после которого биогаз направляют в газораспределительный пункт, далее газ идет на станцию подготовки биогаза, где происходит его чистка и сушка, или в целях безопасности на газовый факел.

Для использования биогаза в качестве топлива для газопоршневых машин его необходимо очищать от вредных примесей (сероводорода и кремневых соединений), для этого должны использоваться сорбционные установки.

Существующие технологические схемы системы сбора биогаза представлены на рис. 1 и 2.

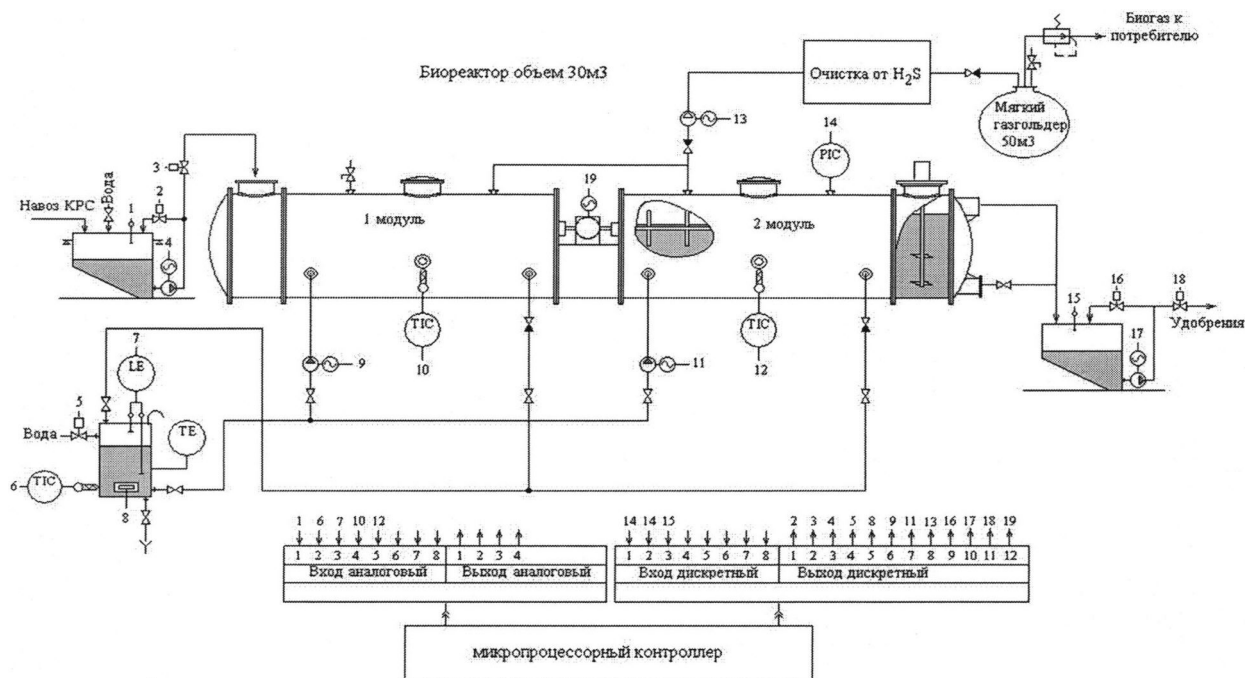


Рис. 1. Технологическая схема системы сбора свалочного газа

На рис. 3 представлена предлагаемая технологическая схема системы сбора свалочного газа.

Преимуществом предлагаемой схемы является более тщательная очистка и осушка биогаза.

Очищенный биогаз поступает в блок Мини-ТЭС, где установлены газовые двигатели, соединенные с генераторами электрического тока. Излишки газа направляются в котельную установку.

В табл. 1 приведены затраты на оборудование и монтаж очистных сооружений.

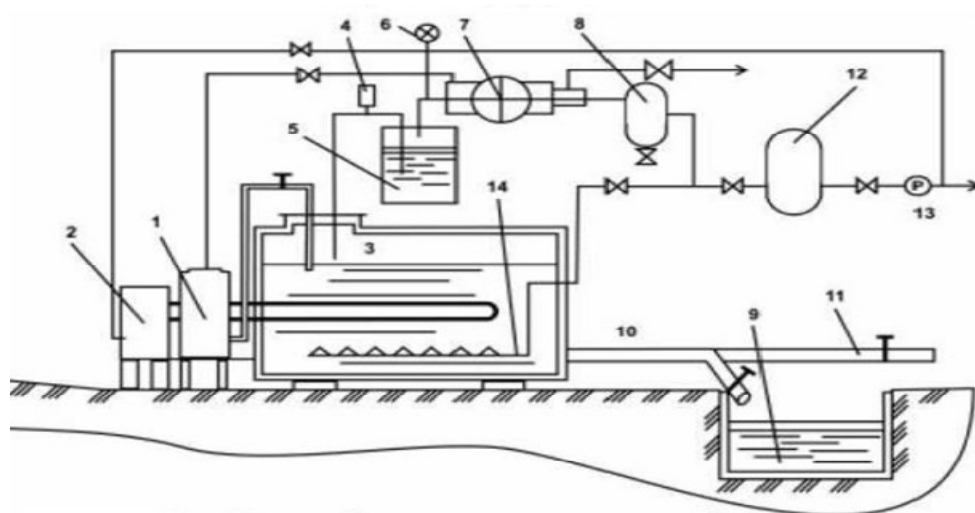


Рис. 2. Технологическая схема системы сбора свалочного газа

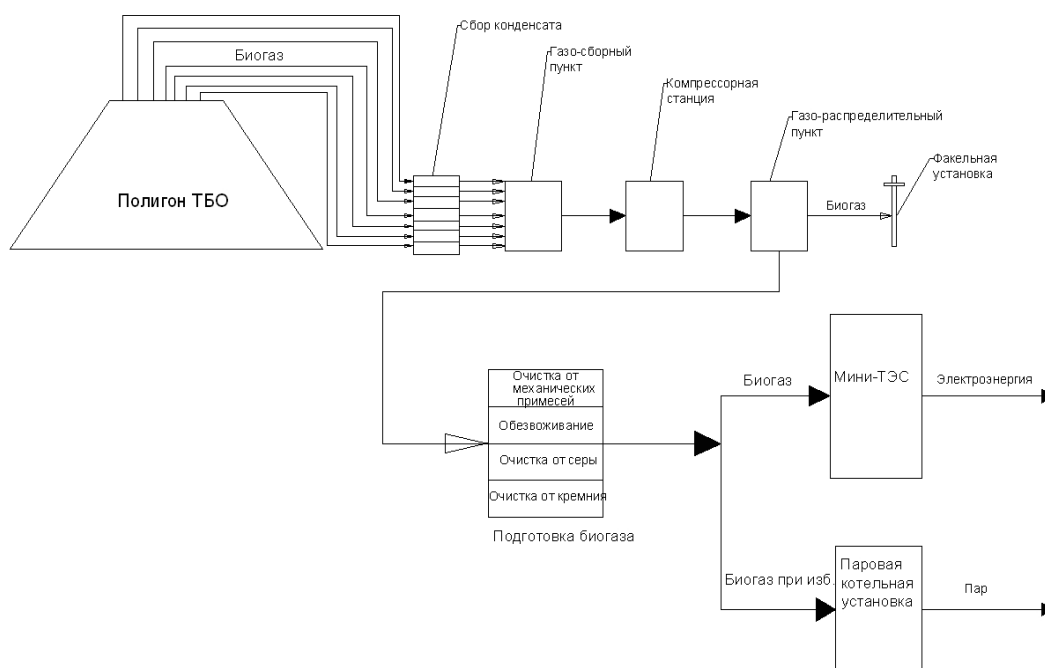


Рис. 3. Технологическая схема системы сбора свалочного газа

Таблица 1.

**Стоимость оборудования и затраты на монтаж**

Наименование оборудования	Стоимость, руб	Затраты на монтаж, руб	Общая цена, руб
Установка для сбора конденсата	1 163 000	115 000	1 278 000
Газосборный пункт	480 000	50 000	530 000
Компрессорная станция	1 100 000	100 000	1 200 000
Газораспределительный пункт	340 000	35 000	375 000
Факельная установка	300 000	30 000	330 000
Станция подготовки биогаза	1 138 000	100 000	1 238 000
Мини-ТЭС	1 250 000	120 000	1 370 000
Паровая котельная установка	1 150 000	100 000	1 250 000
Итого:	6 921 000	550 000	7 391 000

Расчет показателей экономической эффективности проведен по методике [4].  
Стоимость производственного помещения:

(1)

где  $\mu$  – коэффициент, учитывающий дополнительную площадь на проходы и проезды;  $S_{пл}$  – площадь помещения,  $m^2$ ;  $h$  – высота цеха, м;  $C_{зд}$  – стоимость  $1 m^3$  здания.

**Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.**

Оптовая цена объекта:

**Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** (2)

где  $S_{полн}$  – полная себестоимость объекта, руб;  $P$  – плановый уровень рентабельности объекта, %.

**Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.**

Величина заработной платы за год:

$$S_{\text{зар}}^{\text{об}} = \sum_{i=1}^1 K_1 \cdot K_2 \cdot F_{\text{эф}} \cdot C_{\text{час}i} \cdot R_i \quad (3)$$

где  $F_{\text{эф}}$  – эффективный годовой фонд рабочего времени одного рабочего;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату (1,15);  $K_2$  – коэффициент, учитывающий начисление на заработную плату (1,3);  $C_{\text{час}i}$  – часовая тарифная ставка соответствующего разряда рабочего, руб;  $R_i$  – численность рабочих  $i$ -го разряда;  $i$  – количество разрядов рабочих.

Таблица 2.

### Баланс рабочего времени

Показатели	Ед. изм.	Кол-во
Общее количество календарных дней	Дни	365
Количество праздничных и выходных дней	Дни	114
Табельный фонд рабочего времени	Дни	251
Плановые целодневные и внутрисменные потери рабочего времени:	Дни	33
Очередной отпуск	Дни	24
Отпуск в связи с родами	Дни	-
Неявки по болезни	Дни	5
Государственные обязанности	Дни	2
Прочие неявки, разрешённые законом	Дни	2
Явочный фонд рабочего времени	Дни	218
Номинальная продолжительность рабочего дня	Час	8,0
Внутрисистемные потери рабочего времени	час	0,8
Фактическая продолжительность рабочего дня	Час	7,2
Эффективный фонд времени одного рабочего	Час	1569,6



$$S_{\text{об пер}} = \sum_{i=1}^1 1,15 \cdot 1,3 \cdot 1569,6 \cdot 185 \cdot 10 = 4341121,2 \text{ руб}$$

Величина заработной платы при окладной системе оплаты:

$$S_{\frac{з}{п}} = 12 \sum_{j=1}^n K_1 \cdot K_2 \cdot O_j \cdot R_j \quad (4)$$

где  $O_j$  – месячный оклад работника, руб; 12 – число месяцев в году;  $R_j$  – численность работающего оклада человек;  $n$  – кол-во работников.

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Фонд заработной платы всего персонала:

$$S = S_{\frac{об}{пер}} + S_{\frac{з}{п}} \quad (5)$$

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Амортизационные отчисления:

(6)

где  $C_0$  – первоначальная стоимость объекта, соответствующая капитальным затратам на внедрение, руб;  $H_a$  – норма амортизации, 7%.

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Действительный годовой фонд работы объекта:

$$F_{\text{н}} = N \cdot n \cdot k \quad (7)$$

где  $N$  - число рабочих дней в году (251);  $n$  – число часов (24);  $k$  - нагрузка технологического оборудования (50%).

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Стоимость потребляемой энергии:

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования. (8)

где  $W$  – суммарная потребляемая мощность, кВт;  $\mu$  – коэффициент использования мощности (0,8);  $S_{\text{э}}$  – стоимость одного кВт/час энергии, 4,8 руб/кВт;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд времени работы объекта, час.

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Итоговые эксплуатационные затраты:

(9)

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Капитальные затраты (единовременные):

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования. (10)

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Приведённые затраты:

**Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** (11)

где  $\mathcal{E}$  – сумма эксплуатационных затрат, руб;  $K$  – капитальные вложения, руб;  $E_{эф}$  – нормативный коэффициент эффективности (0,12).

$$П=5\ 798\ 777,6+16\ 032\ 280\cdot 0,12=7\ 722\ 651,2\ \text{руб.}$$

Определение срока годности окупаемости капитальных вложений:

(12)

**Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.**

На основании проведённых расчётов срок окупаемости предложенной разработки составит 4,2 года.

Таким образом, определены основные затратные составляющие реализации рассматриваемой технологии сбора и переработки биогаза на полигонах ТКО. Основные технико-экономические показатели, отражающие инвестиционную привлекательность предлагаемой технологии, имеют следующие значения:

- единовременные капитальные затраты 16 032 280 руб.;
- эксплуатационные затраты 5 798 777,6 руб.;
- срок окупаемости капитальных вложений 4,2 г.

Полученные результаты позволяют считать исследуемую технологию сбора и переработки биогаза экономически эффективной как с точки зрения инвестора, так и с точки зрения общества.

### Список литературы

- [1]. *Благутина В.В.* Биоресурсы // Химия и жизнь – 2007. - №1. – С. 36-39.
- [2]. *Ефремова Т.В.* Моделирование систем сбора биогаза на полигонах твердых бытовых отходов// VIII регион, конф. мол. исслед. Волгогр. обл. - Волгоград, 2004. - С. 21-23. 18
- [3]. *Малофеев В.М.* Биотехнология и охрана окружающей среды: Учебное пособие. – М.: Издательство Арктос, 1998. – 188 с.
- [4]. *Земцова Л.В.* Экономический анализ : учебное пособие - Томск : Эль Контент, 2013. — 234 с.

**Комарова Елена Эдуардовна** – студент КФ МГТУ им. Баумана. Кафедра: ИУ7-КФ КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: elena2261998@mail.ru

**Морозенко Мария Ивановна** – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: morozenko\_mi@mail.ru

Д.С. Мазин, Д.Ю. Зубарев, Н.М. Пятов,  
Е.А. Заверткин, В.С. Шувалов

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГУМУСА НА ОСНОВЕ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТМАСС С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОЖДЕВОГО ЧЕРВЯ *LUBRICUS TERRESTRIS* L.**

В настоящее время в связи с увеличением использования пластмасс во всех отраслях промышленности особенную актуальность приобретает проблема их утилизации. Как известно, срок самостоятельного разложения пластмасс составляет от 400 до 700 лет [1], при этом места их хранения обильно загрязняют окружающую среду. Проблема утилизации пластмасс является одним из самых важных направлений в сфере охраны окружающей среды в настоящее время.

Согласно данным ООН, ежегодно человечество «производит» 300 миллионов тонн отходов полимеров. За последние 70 лет их производство в мире возросло с 2 до 400 млн т. Из них только 9% переработано, 12% сожжено, 79% осело на свалках и в океане [2]. В России ежегодно производят от 3,5 до 6 млн т, но перерабатывается только от 350 до 450 тыс. тонн отходов полимеров в год, то есть от 7 до 12,5% от их ежегодного использования. Рассмотрим несколько самых распространенных способов утилизации пластмасс в России: механическое дробление, термодеструкция (сжигание) и пиролиз, экструзия, метанолиз, гликолиз.

Самым популярным способом их утилизации в РФ является метанолиз. Способ предполагает разложения полимеров с помощью метанола. Технология осуществляется в специальных автоклавах при температуре выше 150 °С, под давлением 1,5 МПа и с использованием катализаторов переэтерификации.

Метод пиролиза основан на термохимической переработке отходов. Представляет собой процесс контролируемого термического разрушения без доступа кислорода к сгораемому объекту. Конечные продукты: твердый остаток из углерода и пиролизные газы (которые далее подвергаются переработке).

Гликолиз – процесс, построенный на гидролизе, где для расщепления полимеров применяются гликоли, при температуре от 210 до 250 °С, при атмосферном давлении. Скорость реакции зависит от добавляемых трансэтерификационных катализаторов. Конечный продукт будет зависеть от типа гликоля и его содержания в получаемом растворе.

Экструзия – метод постоянного продавливания расплавленного сырья через специальную формирующую головку. Для реализации процесса экструзии используется экструдер [3].

В качестве альтернативы существующим методам переработки пластмасс может быть рекомендована их утилизация с получением биогумуса. Данная технология является более экологичной в сравнении с остальными. В основе способа лежит идея поглощения червями микрочастиц полимеров вместе с

частицами грунта, в котором обитает червь, и дальнейшее переваривание частиц пластика в желудке червя. Полученный биогу́мус возможно применять в качестве удобрения в сельском хозяйстве.

Проблема получения альтернативных экологически чистых биодобавок и биоудобрений в настоящее время является весьма актуальной. Несмотря на существование довольно большого количества биоудобрений и биопрепаратов для растениеводства, известно относительно немного подходов, позволяющих использовать отходы сельского хозяйства, растениеводства, а также пищевые отходы растительного происхождения, для получения ценных биоудобрений, к которым относится биогу́мус. Известны и получают широкое распространение технология получения вермикомпоста при помощи красного калифорнийского червя, при помощи навозных червей и специализированных дождевых червей «Старатель». Однако применение специализированных червей требует дополнительных затрат.

Нами экспериментально исследована способность дождевых червей *Lubricus terrestris* L. к производству биогу́муса из почвы, содержащей искусственно внесенные частицы ПЭТФ (полиэтилентерефталата). Показано, что уже на 30 сутки эксперимента количество органических веществ в почве увеличивается с 2,5% до 18,93 %, 24,82% и 25,47% в контроле, почве с добавлением растительных отходов и почве с добавлением мелких частиц фталатов соответственно. В экспериментальные образцы было добавлено по 2% (по массе) измельченных растительных отходов и измельченной пластмассы (была применена группа распространенных пластмасс – фталатов, обладающих, согласно современным данным, довольно высокой эмбриотоксичностью). Контрольный образец представляет собой пробу почв, обогащенную дождевыми червями (исходная масса червей составила около 1% от массы почвы, в известных аналогичных технологиях масса червей достигает 50%). Для дыхания и нормальной жизнедеятельности червей почву регулярно рыхлили, увлажняли, в контейнерах проделали отверстия для воздухообмена.

Следующим направлением работы являлась оценка влияния присутствия в почве частиц ПЭТФ на жизнеспособность червей. Показано, что масса червей при добавлении растительных отходов, а также фталатов возрастает более существенно, в сравнении с контрольным образцом. Так, увеличение массы червей в контроле уже на 21 сутки эксперимента составило 15,69%, в почве с добавлением ПЭТФ – 48,46%, в почве с добавлением растительных остатков – 51%. Таким образом, присутствие в почве данной группы пластмасс не только не снижает, но и повышает жизнеспособность дождевого червя, его массу и содержание органического вещества в почве.

Основным результатом работы является получение экспериментально подтвержденных данных о возможности применения отходов пластмасс для получения биогу́муса с применением дождевого червя *Lubricus terrestris* L., возможности оптимизации процесса за счет повышения биомассы и, следовательно, жизнеспособности червя. Полученные данные могут быть применены для разработки технологий получения биогу́муса, а также поиска новых

способов утилизации пластмасс. Таким образом, осуществляется поиск экономически и экологически эффективного способа биодegradации пластмассы, позволяющего предотвратить ущерб от загрязнения окружающей среды отходами этой группы, а также получать экономический эффект от продажи экологически чистого удобрения.

#### **Список литературы:**

- [1]. <https://hightech.fm/2021/07/05/plastic-destroy>
- [2]. <https://www.kommersant.ru/doc/4800096>
- [3]. <https://gupecosistem.ru/utilizatsiya-plastika-v-rossii/>

**Мазин Дмитрий Сергеевич** – студент кафедры «Экология и промышленная безопасность», КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [mazin03092001@yandex.ru](mailto:mazin03092001@yandex.ru)

**Зубарев Дании Юрьевич** – студент кафедры «Экология и промышленная безопасность», КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [zubarev.daniil.2001@gmail.com](mailto:zubarev.daniil.2001@gmail.com)

**Пятов Никита Михайлович** – студент кафедры «Экология и промышленная безопасность», КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [b.sometimes1337@gmail.com](mailto:b.sometimes1337@gmail.com)

**Заверткин Евгений Александрович** – студент кафедры «Экология и промышленная безопасность», КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [zavertkin8910@gmail.com](mailto:zavertkin8910@gmail.com)

**Шувалов Владислав Сергеевич** – студент кафедры «Экология и промышленная безопасность», КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [f0cuZ@mail.ru](mailto:f0cuZ@mail.ru)

**Научные руководители: Кусачева Светлана Александровна** – доцент кафедры ИУК7 «Экология и промышленная безопасность» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [Safronova2@mail.ru](mailto:Safronova2@mail.ru),

**Анфилов Константин Львович** – доцент, зав. кафедрой ИУК7 «Экология и промышленная безопасность» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [kanfilov@yandex.ru](mailto:kanfilov@yandex.ru)

## **ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В РФ**

В формировании базового естественного парникового эффекта на Земле основную роль играют водяной пар  $H_2O$  и углекислый газ  $CO_2$ . Изъятие этих составляющих из атмосферного воздуха в модельных расчетах приводит к значительному похолоданию (на десятки  $^{\circ}C$ ). Именно благодаря этим газам на Земле существуют современные относительно комфортные условия жизни людей. Хозяйственная деятельность человека не может оказать серьезного прямого воздействия на содержание водяного пара в атмосфере - оно весьма значительно [1].

Главная причина антропогенного увеличения парникового эффекта - рост концентрации углекислого газа, метан и окислы азота имеют пока меньшее значение. В целом потенциал  $CO_2$ ,  $CH_4$  и  $NO_x$  в отношении усиления парникового эффекта был значительным и остается заметным. В отличие от роли метана и окислов азота, роль дальнейшего роста концентрации  $CO_2$  (примерно свыше 600 ppm) будет заметно уменьшаться в аспекте усиления парникового эффекта [2, 3].

Климат Земли менялся в течение миллионов лет, периодически возникали ледниковые и межледниковые периоды. Эти циклы длились десятки тысяч лет и их источниками были естественные природные процессы:

- водяной пар;
- углекислый газ;
- вулканическая активность;
- лесные пожары;
- твердые взвешенные частицы природного происхождения.

За последний век климатические изменения происходят стремительно, особенно с развитием индустриализации. К природным источникам повышения в атмосфере парниковых газов присоединились антропогенные:

- увеличение концентрации  $CO_2$ ;
- уничтожение лесов;
- урбанизация;
- сельское хозяйство.

Первым международным соглашением по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу, стал Киотский протокол, принятый 11 декабря 1997 года и вступивший в силу 16 февраля 2005 года [4]. Однако, эффект данного документа был незначительным, так как не все страны были согласны сократить количество выбросов.

Следующим шагом стала конференция, посвящённая климатическим изменениям, которая проходила в Париже с 30 ноября по 11 декабря 2015 года. Целью стало подписание международного универсального и обязательного для выполнения соглашения по регулированию увеличения средней темпера-

туры планеты. От имени Российской Федерации Парижское соглашение было подписано 22 апреля 2016 года в соответствии с распоряжением Правительства от 14 апреля 2016 года №670 [3], которое вступило в силу в конце 2019 г.

Основы правового регулирования в сфере хозяйственной и иной деятельности, которая сопровождается выбросами парниковых газов и осуществляется на территории Российской Федерации регулируется рядом законодательных и нормативных актов.

На уровне государства вводится регулирование по эмиссии и адсорбции парниковых газов. Государственный учет выбросов парниковых газов будет осуществляться в форме ведения реестра выбросов парниковых газов [4].

Распоряжением правительства РФ № 716 -р от 22.04.2015 г. «Об утверждении Концепции формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в Российской Федерации» направлено на осуществление необходимых условий разработки и реализации в Российской Федерации эффективной государственной политики и мер, направленных на сокращение объема антропогенных выбросов в атмосферу парниковых газов и смягчение климатических изменений в соответствии с принятыми международными обязательствами[5].

Для того, чтобы субъекты РФ могли провести инвентаризацию выбросов парниковых газов, утверждены Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах РФ [5].

Настоящие методические рекомендации включают оценки выбросов парниковых газов для секторов «Энергетика» (раздел I), «Промышленные процессы и использование продукции» (ППИП) (раздел II), «Сельское хозяйство» (раздел III) и «Отходы» (раздел IV).

В секторе «Энергетика» представляются данные об эмиссии парниковых газов от сжигания топливно-энергетических ресурсов (1.А), их утечек и испарения (фугитивные выбросы, 1.В), а также справочные данные об использовании топлив для выполнения международных авиационных и морских перевозок и при сжигании биомассы в энергетических целях (1.С).

Энергетический сектор обычно является наиболее важным сектором инвентаризации. В России на него приходится более 80 процентов от общего объема выбросов парниковых газов.

В разделе «Промышленные процессы и использование продукции (ППИП)» рассмотрены выбросы, связанные с промышленными процессами, использованием парниковых газов в составе продукции и неэнергетическим использованием ископаемого топливного углерода.

В секторе «Сельское хозяйство» рассматриваются выбросы парниковых газов в животноводстве и растениеводстве. Выбросы, связанные с животноводством, включают выбросы метана ( $CH_4$ ) от процессов внутренней

ферментации сельскохозяйственных животных, а также выбросы  $\text{CH}_4$  и закиси азота ( $\text{NO}_x$ ) от систем сбора, хранения и использования навоза.

Сектор «Отходы» содержит методологические принципы оценки выбросов двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ), метана ( $\text{CH}_4$ ) и закиси азота ( $\text{NO}_x$ ) в следующих категориях:

- захоронение твердых отходов;
- биологическая переработка твердых отходов;
- сжигание отходов;
- очистка и сброс сточных вод.

Расчет выбросов парниковых газов может быть выполнен с различной степенью методологической сложности.

Направления уменьшения выбросов парниковых газов можно разделить по секторам. В связи с этим представляют интерес некоторые направления уменьшения выбросов парниковых газов:

- в энергетической промышленности (производство электричества, централизованного теплоснабжения, переработка нефти и др.) предлагается почти полностью коммерциализировать выбросы (включая небольшие котельные) и увеличить использование возобновляемых источников энергии;

- в грузоперевозках предлагается использование биотоплива, обязательные лимиты для автопроизводителей (на уровне ЕС), проектирование городов и изменение методов перевозки, уменьшающих количество транспорта;

- в производственной промышленности и строительстве (включает собственное производство электроэнергии и тепловой энергии) предлагается коммерциализация выбросов;

- в государственном секторе, обслуживании и бытовом секторе (в основном отопление конкретных зданий) предлагается, чтобы к концу 2020 года все новые здания должны быть домами почти нулевой энергии (регулирование на уровне ЕС), энергоэффективность в ремонте здания, «умные системы»;

- в металлургической, химической, минерально-сырьевой промышленности предлагается коммерциализация выбросов;

- в использовании почвы, процессах переваривания пищи домашними животными, обработке навоза предлагается применение сельскохозяйственной биомассы и отходов в производстве энергии. При этом отмечается, что значительное ограничение выбросов без воздействия на объем и ассортимент производства является сложным.

Сельскохозяйственная политика в области климата должна быть расширена и покрывать решения, связанные с землепользованием и энергетическим сектором;

- в секторе отходов (отходы, идущие на свалку, обработка и компостирование стоков воды) предлагается:

- предотвращение появления отходов, переработка отходов, использование отходов в качестве энергии.



Таким образом усилия будут направлены на сокращение выбросов парниковых газов во всех секторах, хотя потенциал для этого сильно варьируется между секторами.

### Список литературы

[1] *Спорышев П.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. и др.* Причины наблюдаемых изменений климата. Изменения климата и их последствия // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, – 2014 – № 574 – С. 39-142.

[2] *Миллер Т.* Жизнь в окружающей среде: в 3 т.: программа всеобщего эколог. образования: [ пер. с англ. ] Москва, Прогресс: Пангея, 2017, с. 399.

[3] *Приходько О.К.* Конференция по изменению климата в Париже 2015 г.: политические противоречия [Электронный ресурс] Южно-Уральский государственный университет, 2016. – 5 с. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/300981> (дата обращения 02.11.2021)

[4] *Жукова Ю.М., Заварзина М.Ю., Прохорова Т.М.* Инвентаризация объемов выбросов и поглощения парниковых газов на территории Калужской области. Научные технологии, 2021, Т. 22. № 1. с. 49-55.

[5] *Распоряжение* правительства РФ № 716 -р от 22.04.2015 г. «Об утверждении Концепции формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в Российской Федерации». Москва, 2015, с. 11.

**Жукова Юлия Михайловна** – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: [zjuliam@hotmail.com](mailto:zjuliam@hotmail.com)

**Белюсова София Алексеевна** – студент ИУК7-11М КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [Sofa.Be@yandex.ru](mailto:Sofa.Be@yandex.ru)

**Ломтева Римма Витальевна** – студент ИУК7-11М КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [rimmlomteva@yandex.ru](mailto:rimmlomteva@yandex.ru)

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОБНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Микробный топливный элемент (МТЭЛ) представляет собой биотехнологическое устройство, преобразующее энергию химических связей органических веществ в электричество посредством микроорганизмов. МТЭЛы могут использовать сточные воды городов, предприятий, что делает их весьма эффективными средствами не только для производства электрической энергии, но и защиты окружающей среды от загрязняющих веществ [1]. Если все эксперименты выполнять посредством одной лабораторной установки, подбор оптимальной загрузки для конкретного вида, например, содержащих органические отходы (субстраты) стоков, может растянуться на неопределенный срок, и в таком случае для ускорения исследований возникает необходимость приемлемой унификации, то есть требуется унифицировать и упростить алгоритм исследования [2].

Целью данной работы является разработка методов определения основных характеристик МТЭЛ, а также определение перспектив улучшения их энергетических и экобиозащитных параметров.

В повышении эффективности работы МТЭЛов можно выделить два важнейших направления:

1. Техническое (технико-технологическое). Направлено на оптимизацию конструкции МТЭЛов, а также подбор модельных сред (подпиточных растворов) и оптимальных параметров технологического процесса.

2. Биологическое, основанное на подборе оптимальных сообществ микроорганизмов или отдельных штаммов[3].

Для оценки эффективности вариации описанных факторов, прежде всего, следует разработать методику экспериментальных исследований и обработки результатов экспериментов. Опишем кратко методику, созданную в ходе проведённых авторами исследований.

В описываемой работе использована конкретная модель, разработанная на основе запатентованной нами ранее лабораторной модели МТЭЛ (патент РФ на полезную модель № 175765 «Биоэлектрохимическое устройство» от 14 июля 2017 г.)[4]. Устройство состоит из двух камер, разделенных протон селективной мембраной. В малую (анодную) часть установки помещен латунный цилиндр, в большую (катодную) помещён графитовый стрежень, играющий роль катода.

Для определения основных характеристик описанная модель МТЭЛ подключается в электрическую схему[5], изображённую на рис. 1.

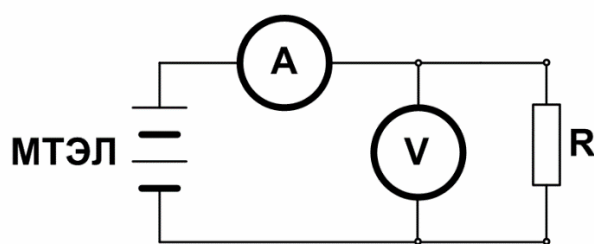


Рис. 1. Схема подключения МТЭЛ для определения электрических характеристик: А – амперметр, V–вольтметр, R– сопротивление нагрузки.

Так как для практики важно изменение характеристик МТЭЛ с течением времени, с помощью представленных на рис. 1 приборов измерялись сила тока и напряжение в электрической сети в разные моменты времени (на протяжении более 10 суток эксплуатации). По результатам измерений строились таблицы Excel, информация из которых импортировалась и обрабатывалась с помощью специально созданной программы на языке Python [6]. В данном случае программа вычисляла зависимости мощности МТЭЛ (по измеренным напряжению и току) от времени и выводила указанные зависимости в наглядном графическом виде. Были использованы следующие библиотеки функций языка Python: Pandas для преобразования диапазонов данных таблиц Excel в массивы; Numpy [7] для обработки массивов; Matplotlib.pyplot [8] для создания и вывода полученных характеристик МТЭЛ в наглядном графическом виде.

Приведём два примера характеристик МТЭЛ, полученных для различных активных илов природных водоёмов. На рис. 2 показана характеристика биоэлектрической активности для ила р. Дера Унечского района Брянской обл.

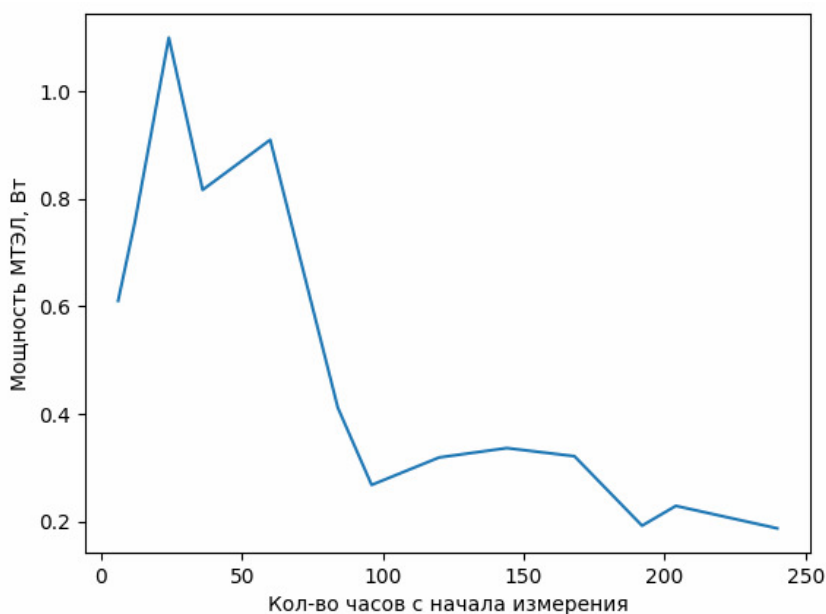


Рис. 2. Характеристика МТЭЛ, использующего ил р. Дера Унечского района Брянской обл.

По характеристике наглядно видно, что в данном случае МТЭЛ не выраба-

тывает стабильной мощности в течение длительного промежутка времени, поэтому его работу на этом иле следует считать неэффективной. По-видимому, это связано с весьма быстрой трансформацией исследуемого ила внутри МТЭЛ и его нестабильностью в условиях проточного водоема (что однако хорошо с точки зрения обезвреживания отходов).

Рассмотрим теперь характеристику МТЭЛ, работающего на активном иле озера Резвань, г. Калуга (рис. 3).

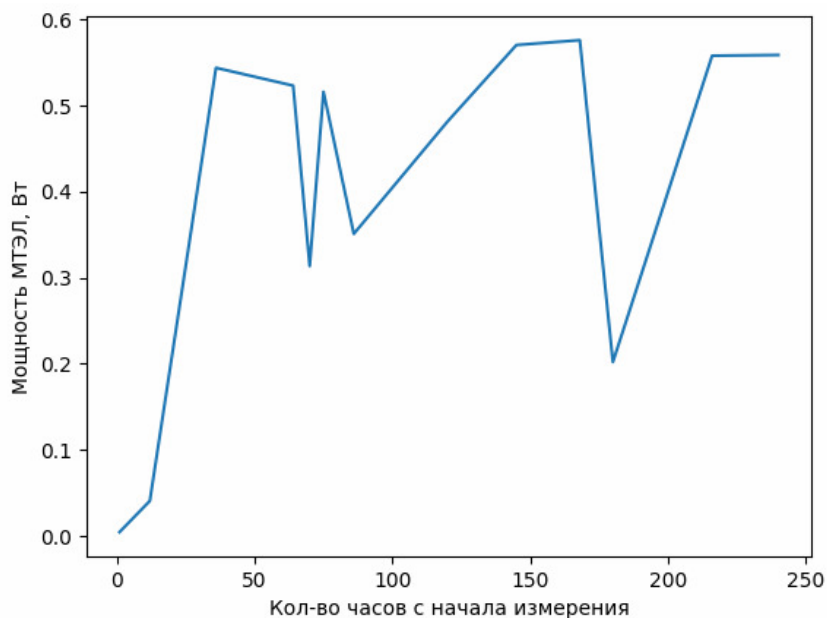


Рис. 2. Характеристика МТЭЛ, использующего ил озера Резвань, г. Калуга

В представленном случае характеристика является намного более стабильной, и даже через 10 суток эксплуатации МТЭЛ не наблюдается существенного спада его мощности (хотя в течение срока наблюдений и возникают значительные её колебания, т.к. процесс связан с одновременным протеканием множества биохимических процессов). Благодаря длительной выработке весьма высокой полезной мощности, с энергетической точки зрения данная характеристика (и соответственно, сообщество микроорганизмов ила рассматриваемого водного источника) является предпочтительной. Полученные результаты сопоставимы с известными литературными сведениями о большей стабильности илов стоячих водоемов.

Методику получения характеристик МТЭЛов, описанную в статье, в дальнейшем планируется применять для изучения характеристик микробных энергоисточников, отличающихся конструкционно и использующих питательные среды и активные илы разного состава (или отдельно взятые штаммы микроорганизмов), что позволит повысить их энергетические параметры и добиться большей скорости биоразложения отходов в окружающей среде. Также представляется перспективным в дальнейшем применить разработанную систему автоматизации методики измерений с использованием современных средств Arduino [9].

## Список литературы

[1]. Скундин А.М., Воронков Г.Я. Химические источники тока. 210 лет. – М.: Поколение, 2010. – 352 с.

[2]. Кусачева С.А., Сащенко И.И., Черняев С.И. и др. К вопросу об унификации критериев сопоставления различных микробных топливных элементов. Успехи современного естествознания – 2016 - №12. С. 184 – 187.

[3]. Кусачева С.А, Анфилов К.Л., Егоров Н.С. и др. Исследование направлений повышения производительности микробных топливных элементов. Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума НАУКА И ИННОВАЦИИ – СОВРЕМЕННЫЕ КОНЦЕПЦИИ. М.: Изд. Инфинити, 2021. - С. 125 – 131.

[4]. Биоэлектрохимическое устройство. Патент на полезную модель № 75765. Дата государственной регистрации 19.12.2017г. И.И. Сащенко, С.А. Кусачева, С.И. Черняев, В.К. Ильин, М.Е. Сафронова, П.А. Мартынов, А.Ю. Логинова, А.С. Гордеев.

[5]. Ильичев В.Ю., Савин В.Ю. Создание методики двухфакторной оптимизации расходно-энергетической характеристики гидравлической системы. // Компрессорная техника и пневматика. – 2020. – № 4. – С. 25-30.

[6]. Ильичев В.Ю. Использование рекурсивных функций для создания фрактальной графики средствами языка Python. // Системный администратор. - 2021. - № 3 (220). - С. 92-95.

[7]. Ильичев В.Ю. Использование библиотеки ZenCAD языка Python для разработки универсальной методики создания объемных изделий. // Системный администратор. - 2021. - № 6 (223). - С. 82-85.

[8]. Ильичев В.Ю. Разработка программы для исследования аттрактора Лоренца и ее использование. // Сложные системы. - 2021. - № 1 (38). - С. 56-63.

[9]. Ильичев В.Ю., Шевелев Д.В., Назаров Е.С. Создание системы измерений теплофизических параметров на основе аппаратных и программных средств Arduino. // Системный администратор. – 2021. – № 9 (226). – С. 82-85.

**Кусачева Светлана Александровна** – доцент, канд. биол. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: safronova2@mail.ru

**Сафронова Мария Евгеньевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: svetlaya.dom@mail.ru

**Ильичев Владимир Юрьевич** – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: patrol8@yandex.ru

## РАСЧЁТ СВОЙСТВ ВЫБРОСОВ ПРИ ИЗВЕСТНОМ СОСТАВЕ ТОПЛИВА

В данной работе необходимо было разработать программу, позволяющую по компонентному составу топлива (в частном случае, газа) и коэффициенту избытка воздуха определять состав продуктов сгорания, а также энергетическую составляющую (энтальпию) выбросов, которую в случае её большого значения, безусловно, следует использовать в утилизационных теплообменниках [1]. Также должны определяться и прочие теплофизические параметры выбросов, используемые при расчёте установок для их утилизации.

Расчётная программа создавалась на бесплатном, но обладающим широкими возможностями, языке программирования Python [2]. Для написания кода интерфейса использована библиотека визуальных элементов Tkinter [3]. В интерфейсе программы прописывается состав исходного топлива и выбранный для котла коэффициент избытка воздуха. В качестве результатов расчёта выводится состав выбросов и их теплофизические свойства.

Интерфейс программы представлен на рис. 1.

Процентное содержание компонентов топлива (по объёму):		Результаты: свойства продуктов сгорания:	
Компоненты газового топлива:	Компоненты воздуха:	Проц. содерж. прод. сг. (по массе):	
CO: 20.48, %	N2: 76.00, %	CO2: 19.7758, %	
CO2: 9.1196, %	O2: 24.00, %	H2O: 8.0487, %	
CH4: 22.1672, %	Итого: 100.0, %	NOx: 72.1755, %	
C2H6: 1.0314, %		Итого: 100.0, %	
C3H8: 0.7448, %			
C4H10: 0.4641, %			
N2: 41.0975, %	Коэф. изб. возд.: 1.14	Теплофизические свойства продуктов сгорания:	
H2: 1.0185, %	Темп. прод. сг.: 840.0, °C	Энтальпия: 1491019.7, Дж/кг	
H2O: 3.8769, %		Плотность: 0.31197, кг/м³	
Итого: 100.0, %		Теплоёмк. изобарная: 1296.82, Дж/кг/К	
		Теплопроводность: 0.0764, Вт/м/К	
		Динамич. вязкость: 0.00014213, Па·с	
		Число Прандтля: 0.75259	

Расчитать свойства продуктов сгорания

Рис. 1. Внешний вид программы для расчёта выбросов – продуктов сгорания топливного газа в смеси с воздухом

Для каждого исследуемого топлива надо заполнить все поля программы в левой её части «Процентное содержание компонентов топлива (по объёму)».

При расчёте вначале проверяется суммарное содержание компонентов топлива и воздуха (эти значения должны получиться по 100%), а затем выпол-

няется алгоритм расчёта реакций горения. В правой части интерфейса «Результаты – свойства продуктов сгорания» выводится процентное содержание составляющих выбросов и их теплофизические свойства, для определения которых используется очень мощная библиотека свойств веществ и их смесей для языка программирования Python, называемая CoolProp [4].

Созданный программный продукт был использован для расчёта выбросов для характерного состава исходных топливных газов [5]. Для сравнения также приведён состав выбросов после сжигания водорода (являющегося перспективным «чистым» газообразным топливом [6]) с примесью метана 20%. Коэффициент избытка воздуха для примера во всех случаях сжигания выбран одинаковым 1.14. Также принята одинаковая температура выбросов на выходе из котла 840°C.

Состав топлив, использованный для расчётов свойств выбросов, приведён в табл. 1.

Таблица 1.

**Состав исследуемых топливных газов %**

Компоненты топлива	Процентный (по объёму) состав топливных газов				
	природный	коксовый	конвертерный	доменный	водородное топливо
CH <sub>4</sub>	98,63	23	-	0,3	20
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,12	2	-	-	-
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,02	-	-	-	-
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,1	-	-	-	-
N <sub>2</sub>	0,12	7,5	10,2	58,5	-
CO <sub>2</sub>	1,01	3	14	10,5	-
CO	-	7	72,5	28	-
H <sub>2</sub>	-	57,5	3,3	2,7	80
Итого	100	100	100	100	100

Рассмотрим результаты произведённых с помощью созданной программы расчётов.

В табл. 2 приведена энтальпия выбросов, образующихся после сжигания представленных в табл. 1 топлив.

Таблица 2.

**Энтальпия выбросов после сжигания топлив**

Компоненты выбросов	Процентный (по объёму) состав топливных газов				
	природный	коксовый	конвертерный	доменный	водородное топливо
энтальпия, кДж/кг	1565	1645	1312	1304	1726

По результатам расчётов можно сделать следующий вывод: с точки зрения использования тепла уходящих из котла газов наиболее перспективным явля-

ется водородное топливо, т.к. оно при одинаковой с прочими выбросами температуре имеет наибольшую энтальпию. Второе место занимает коксовый газ.

Таким образом, можно сделать общий вывод, что по энергетическим показателям водородное топливо является наиболее перспективным [7]. Следует отметить также отсутствие вредных выбросов при использовании чистого водорода. Однако, для его использования требуется специальное оборудование котлов, изготовленное из наиболее жаростойких материалов; к тому же водород наиболее взрывоопасен из всех представленных топлив, поэтому котлы должны быть оснащены развитой системой защиты. Также процесс получения водорода является дорогим [8]. В настоящее время многими учёными проводится большой объём исследований по преодолению этих сложностей.

С помощью разработанной в данной работе программы можно рассчитывать теплофизические свойства любых других смесей газообразных топлив (благодаря использованию мощного модуля-базы данных веществ CoolProp [9]).

### Список литературы

[1]. *Ильичев В.Ю., Лужецкий А.А.* Проектирование пластинчатого рекуператора для малоразмерной газотурбинной установки. // *E-Scio* - 2021. - № 4 (55). - С. 13-22.

[2]. *Ильичев В.Ю., Лужецкий А.А.* Методика технико-экономического обоснования применения пластинчатых рекуператоров в малоразмерных ГТУ. // *Научное обозрение. Технические науки.* - 2021. - № 1. - С. 40-45.

[3]. *Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.* Построение характеристик гидравлической системы с центробежными насосами. // *Научное обозрение. Технические науки.* - 2021. - № 3. - С. 27-31.

[4]. *Ильичев В.Ю.* Разработка программных продуктов с использованием модуля PythonCoolProp для исследования эффективности утилизации тепла продуктов сгорания газообразных топлив. // *Системный администратор.* - 2020. - № 11 (216). - С. 80-83.

[5]. *Шахуов Т.А., Куникеев Б.А.* Анализ работы газотурбинной установки при изменении состава топлива. // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации.* - 2018. - № 5 (1421). – С. 87-95.

[6]. *Жукова Ю.М., Заварзина М.Ю., Прохорова Т.М.* Инвентаризация объемов выбросов и поглощения парниковых газов на территории Калужской области. // *Наукоемкие технологии.* - 2021. - Т. 22. - № 1. - С. 49-55.

[7]. *Киселева М.А., Степанов О.А.* Водородное топливо как альтернативный источник энергии. // В сборнике: *Сборник материалов XV научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, соискателей и магистрантов ТюмГАСУ.* В двух томах. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования



«Тюменский государственный архитектурно-строительный университет». - 2015. - С. 49-53.

[8]. *Ergazieva G.E., Telbayeva M.M., Dossumov K., Niyazbayeva A.I.* Promising methods for hydrogen producing // Горениеиплазмохимия - 2020. - Т. 18.- № 1. - С. 23-28.

[9]. *Ilichev V.Yu.* Development of procedure for determination of characteristics of heated polycarbonate greenhouses // International Research Journal 2021. - № 2-1 (104). - С. 132-135.

**Ильичев Владимир Юрьевич** – доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: patrol8@yandex.ru

**Жукова Юлия Михайловна** – заместитель заведующего кафедрой по научной работе, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: dazhf1@mail.ru

## СОСТАВ ВЫБРОСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ

Наиболее часто используемым видом топлива в структуре энергетической отрасли нашей страны является природный газ [1]. Также, в настоящее время металлургические предприятия стараются полностью использовать горючие газы, образующиеся в технологических процессах: доменный, коксовый, конвертерный [2]. При сжигании топливных газов образуется большое количество вредных для окружающей среды продуктов сгорания (хоть и меньше, чем при сжигании, например, угля): углекислого газа, окислов азота.

Следствием сжигания топлив является так называемое тепловое загрязнение окружающей среды, служащее одним из основных факторов глобального потепления. Однако, ещё больший вклад в темпы глобального потепления вносят парниковые газы (тот же углекислый газ и некоторые окислы азота) [3, 4]. По указанным причинам в настоящее время стараются максимально снизить перечисленные виды выбросов. При этом становится актуальной проблема замены «грязных» видов топлива на более «чистые», дающие при сжигании меньшее количество выбросов вредных веществ.

Целью данной работы являлось определение состава продуктов сгорания по исходному компонентному составу топливного газа и коэффициенту избытка воздуха и классификация газообразных топлив по количеству вредных выбросов.

Для этого был создан программный продукт, использованный для расчёта выбросов для характерного состава исходных топливных газов, взятых из [5, 6] (табл. 1). Коэффициент избытка воздуха принят для всех вариантов 1.14.

*Таблица 1.*

**Состав исследуемых топливных газов в %**

Компоненты топлива	Процентный (по объёму) состав топливных газов				
	природный	коксовый	конвертерный	доменный	водородное топливо
CH <sub>4</sub>	98,63	23	-	0,3	20
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,12	2	-	-	-
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,02	-	-	-	-
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,1	-	-	-	-
N <sub>2</sub>	0,12	7,5	10,2	58,5	-
CO <sub>2</sub>	1,01	3	14	10,5	-
CO	-	7	72,5	28	-
H <sub>2</sub>	-	57,5	3,3	2,7	80

Рассмотрим результаты произведённых с помощью созданной программы расчётов.

В таблице 2 приведён компонентный состав выбросов, образующихся после сжигания представленных в табл. 1 топлив. Следует принимать во внимание, что содержание NO<sub>x</sub> в продуктах сгорания в данном случае является условной величиной, т.к. неизвестно, сколько азота и кислорода реально превратится в окислы азота.

Таблица 2.

**Состав выбросов в % после сжигания газообразных топлив**

Компоненты выбросов	Процентный (по объёму) состав топливных газов				
	природный	коксовый	конвертерный	доменный	водородное топливо
CO <sub>2</sub>	13,5	11,28	42,9	31,67	6,77
H <sub>2</sub> O	10,91	13,66	0,67	1,1	16,61
NO <sub>x</sub>	75,59	75,06	56,43	67,23	76,62

По результатам расчётов можно сделать следующие основные выводы:

1. По выходу парниковых газов (диоксида углерода и частично окислов азота, к тому же вредных для окружающей среды по прочим эффектам) первое место занимает конвертерный газ, с небольшим отрывом от него следует доменный газ. Среднее положение по этому показателю имеют природный (нашедший наибольшее применение в энергетике) и коксовый газы. Самым экологически чистым является водородное топливо.

2. С точки зрения использования тепла продуктов сгорания наиболее перспективным также является водородное топливо, т.к. оно при одинаковой с прочими выбросами температуре имеет наибольшую энтальпию. Второе место занимает водородное топливо.

Таким образом, можно сделать общий вывод, что по экологическим и энергетическим показателям водородное топливо является наиболее перспективным [7]. Среди всех остальных газов следует рекомендовать 100% использование образующегося в процессе коксования каменного угля коксового газа, т.к. при его сжигании образуется также относительно небольшое количество парниковых и прочих вредных газов, и его энергетические показатели являются весьма высокими.

**Список литературы**

- [1]. Ильичев В.Ю., Юрик Е.А., Антипов В.С. Оптимизация перераспределения потоков на магистральных газопроводах. // Научное обозрение. Технические науки. - 2019. - № 4. - С. 22-26.
- [2]. Ильичев В.Ю., Лужецкий А.А. Методика технико-экономического обоснования применения пластинчатых рекуператоров в малоразмерных ГТУ. // Научное обозрение. Технические науки. - 2021. - № 1. - С. 40-45.
- [3]. Ilichev V.Yu. Development of procedure for determination of characteristics of heated polycarbonate greenhouses. // International Research Journal. - 2021. - № 2-1 - (104). - С. 132-135.

[4]. Жукова Ю.М., Заварзина М.Ю., Прохорова Т.М. Инвентаризация объемов выбросов и поглощения парниковых газов на территории Калужской области // Научные технологии. - 2021. - Т. 22. - № 1. - С. 49-55.

[5]. Шахуов Т.А., Куникеев Б.А. Анализ работы газотурбинной установки при изменении состава топлива. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. - 2018. - № 5 (1421). - С. 87-95.

[6]. Kawasaki Heavy Industries построит первую газотурбинную электростанцию на водороде. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.turbine-diesel.ru/rus/node/4418> (дата обращения: 25.10.2021).

[7]. Ильичев В.Ю., Чухраев И.В., Чухраева А.И. Решение задачи перераспределения потоков газа на магистральных газопроводах методами линейного программирования. // Научные технологии. - 2020. - Т. 21. - № 1. - С. 11-17.

**Ильичев Владимир Юрьевич** –доцент, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: patrol8@yandex.ru

**Жукова Юлия Михайловна** – заместитель заведующего кафедрой по научной работе, канд. техн. наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: dazhfl@mail.ru

Я.М. Литвинова, С.Н. Никулина

## **СПОСОБ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Радиоэлектронная промышленность - одна из отраслей промышленности, гарантирующая инновационный путь совершенствования России. Однако, высокоинтенсивное развитие радиоэлектронной отрасли и организация новых производств промышленного выпуска широкой номенклатуры радиоэлектронной аппаратуры с высокой конкурентоспособностью требует уменьшение затрат на организацию производства и уменьшения негативного действия на экологию.

Наверняка ни для кого не секрет, что во многом мы страдаем из-за плохой экологии, которая напрямую связана с развитием промышленности и производства. В настоящее время вопросы экологии становятся все более и более актуальными. Мы наконец-то стали задумываться о вреде, который мы наносим окружающей среде, и о том, как снизить размер этого вреда. Одним из острых вопросов, которые сейчас стоят перед предприятиями в области экологии, является очистка промышленных стоков от солей тяжелых металлов.

В прогрессивной индустрии действительную угрозу дает большое количество водоемких технологических процессов, сопровождающихся образованием токсичных производственных сточных вод (ПСВ), содержащих вредные примеси соединений тяжелых металлов, органических добавок, неорганических кислот и щелочей. Эти стоки имеют все шансы оказывать вредоносное, в том числе канцерогенное, влияние на организм человека, а еще привести к нарушению экологического баланса окружающей среды (ОС). Чтобы избежать вредоносных результатов хозяйственной деятельности предприятия, нужно проводить экологическую оценку влияния на окружающую среду, ужесточать контроль по соблюдению действующих предельно допустимых концентраций (ПДК) на сброс, принимать соответствующие меры по их уничтожению. Различная номенклатура защитно-декоративных и функциональных покрытий, наносимых на поверхность деталей и корпусов изделий радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), обуславливает накопление на предприятиях приборостроения концентрированных сточных вод, содержащих широкий спектр высокотоксичных загрязняющих веществ. К ним в первую очередь относятся ионы таких тяжелых металлов (ИТМ), как хром, олово, медь, висмут, никель, а также опасные органические примеси (уротропин) в составе производственных сточных вод. Они обладают очень высокой биологической активностью, изменяют стандартный процесс метаболизма, приводят к отравлению, мутации. Поэтому запускаются патогенные процессы, которые с повышением содержания тяжелых металлов в организме, принимают не только значительный для здоровья, но и необратимый характер. Помимо того, что металлы сами отравляют организм человека они еще и чисто механи-

чески закупоривают почечные каналы, каналы печени, из-за чего снижается фильтрационная способность этих органов

Для предприятий радиоэлектронной промышленности (РЭП) деятельность в области экологической безопасности состоит в обеспечении минимизации воздействия на окружающую природную среду от любого вида хозяйственно-производственной деятельности, производственной технологии.

Огромную антропогенную нагрузку от работы предприятий РЭП испытывают в настоящее время бассейны рек и очистные сооружения городов, куда каждый день попадают мало обработанные и загрязненные производственные стоки воды самого различного состава, которые в некоторых случаях представляют собой смесь высокотоксичных загрязняющих веществ как, например, шестивалентный хром, кадмий, свинец, редкоземельные металлы, а также хлориды, фосфаты, сульфаты, соединения мышьяка, цианиды, фториды. Отсутствие достоверных научно обоснованных и экономически целесообразных способов очистки промышленных сточных вод до нормативов приводит к тому, что построенные даже по новым проектам очистные сооружения на предприятиях РЭП имеют довольно невысокую эффективность — на уровне 60-80 %.

В настоящее время на предприятиях приборостроения и точного машиностроения ужесточаются требования к созданию замкнутых ресурсных оборотов, увеличению эффективности очистки ПСВ и понижению негативного влияния производственных сбросов и неорганизованного складирования гальванических отходов на водные объекты. Появляется необходимость разработки новых модулей локальной очистки моностоков, модернизации действующих локальных очистных сооружений (ЛОС) предприятия, утилизации и переработки гальваношламов, Возникающих в процессе обезвреживания промышленных стоков гальванических производств (ГП).

На предприятиях радиоэлектроники и приборостроения пресная вода используется практически во всех основных технологических процессах: в электрохимических, гальванических производствах, в процессах обезжиривания, в охлаждающих системах установок сварки, вакуумных установок напыления, печей, откачных постов и т.д. Особо очищенная -дистиллированная и деионизированная – вода применяется в цехах полупроводникового производства. Большие объемы потребления пресной воды и значительные платы за загрязненную технологическую воду привели к тому, что сточные воды повторно используют в производстве. В последние годы наблюдается устойчивая тенденция использования, после дополнительной и трудоемкой очистки городских и промышленных стоков, например, в охлаждающих системах оборотного водоснабжения взамен свежей пресной воды.

В процессе механической обработки полупроводникового материала образуются сточные воды, содержащие в своём составе взвешенные вещества - порошкообразные отходы полупроводника в виде нерастворимых кристаллических примесей различного гранулометрического состава. Обезвреживание гальваношламов сложного состава способом ферритизации сможет значи-

тельно уменьшить вымываемость ионов тяжелых металлов из гальваношламов, что резко понижает их экологическую опасность для окружающей среды, осуществление перечисленных выше мероприятий позволит не только понизить имеющийся объемы опасных производственных стоков без глобального изменения схемы очистки и увеличения площадей, но и уменьшить потребление химических реагентов на очистку.

Отстаивание как метод очистки сточных вод от механических примесей является самым распространённым и простым способом разделения. Если учесть, что в процессе отстаивания не происходит вторичного загрязнения жидкой и твёрдой фаз, метод отстаивания изучался нами как возможный вариант очистки сточных вод от процессов механической обработки полупроводников с одновременным решением задачи утилизации твёрдой фазы.

Несмотря на относительно небольшие объемы сточных вод, сбрасываемых отдельными предприятиями радиоэлектронной и приборостроительной промышленности в канализацию, затраты на проектирование, строительство и эксплуатацию очистных сооружений, предназначенных для их обезжиривания, сравнимы, а иногда и превышают затраты на создание основного производства. Это связано со сложностью технологических процессов обработки сточных вод и высокой ценой технологического оборудования.

#### Список литературы

[1]. *Кобелева А.М.* Исследование процесса очистки сточных вод участков механической обработки полупроводников / А. М. Кобелева // Молодежь и системная модернизация страны : сборник научных статей 4-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых, Курск, 21–22 мая 2019 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 54-57.

[2]. *Корнев А.В.* Экологическая оценка водоемких технологических процессов на предприятиях приборостроения / А. В. Корнев, Е. А. Федорова // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 11. – С. 48-53.

**Литвинова Яна Михайловна** – студентка. E-mail:  
yana.litvinova.1998@inbox.ru  
**Никулина С.Н.** –

## **ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПИРОЛИЗА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ШИН В РОССИИ**

В настоящее время в связи с увеличением автомобильной промышленности, также возрастом и производством сопутствующих изделий, в том числе шин. Как известно, срок самостоятельного разложения резины составляет более 140 лет, при этом места хранения резины обильно загрязняют окружающую среду. Проблема утилизации шин является одним из самых важных направлений для повышения уровня экологии в настоящее время.

По состоянию на 2020 год в России общее количество произведенных шин составило 46 миллионов штук [1]. При этом, ежегодно в стране накапливается около 800 тысяч тонн использованных шин. В промежуток с 2017 по 2019 года включительно в целом по стране было утилизировано свыше 130 тысяч тонн отработанных шин [2]. Данные цифры показывают, что с каждым годом в стране происходит накопление количества отработанных шин.

Рассмотрим несколько самых распространенных способов утилизации шин в России: механическое дробление, термодеструкция (сжигание) и пиролиз.

Самым популярным способом утилизации шин в РФ является механическое дробление [3]. Способ предполагает грубую нарезку на небольшие куски, удаление металлического и текстильного корда, измельчение в крошку. Преимуществами данного метода является возможность повторного использования резины и минимализация выбросов в окружающую среду в процессе получения крошки. Данный способ является одним из самых высокоэффективным в мире, но его использование целесообразно только в случае уменьшения производства резиносодержащих изделий, которые заменяют изделия из крошки. В условиях применения его в России он теряет свою актуальность в связи с тем, что использование данного способа не влечет за собой снижение производства резиносодержащих изделий. Таким образом, возникает миграция резиновых изделий из одной отрасли в другую, что приводит к накоплению резиносодержащих отходов.

Термодеструкция (сжигание) получила широкое распространение в РФ с начала нулевых годов двадцать первого века. Популярность данного способа обусловлена тем, что он является наиболее простым по сравнению с остальными, а также в результате сгорания получается значительное количество выделяемой энергии, которую возможно использовать на другие блага. Существенным недостатком данного способа является значительное выделение вредных веществ в процессе сгорания шин [4].

Исходя из новой амбициозной стратегии Евросоюза [5], в которой указаны требования по сокращению выбросов парникового газа как минимум на 55% к 2030 году, целесообразно рассмотреть наиболее экологический способ утилизации шин, а именно, пиролиз. Этот способ представляет собой термическое разложение углеводородного сырья [6]. Главным преимуществом пи-



ролиза по сравнению с остальными является его экологичность. В технологии этого способа не происходит контакт сырья с атмосферой в ходе технологического процесса. В результате пиролиза происходит разложение отработанных шин на три фракции (рис.1)

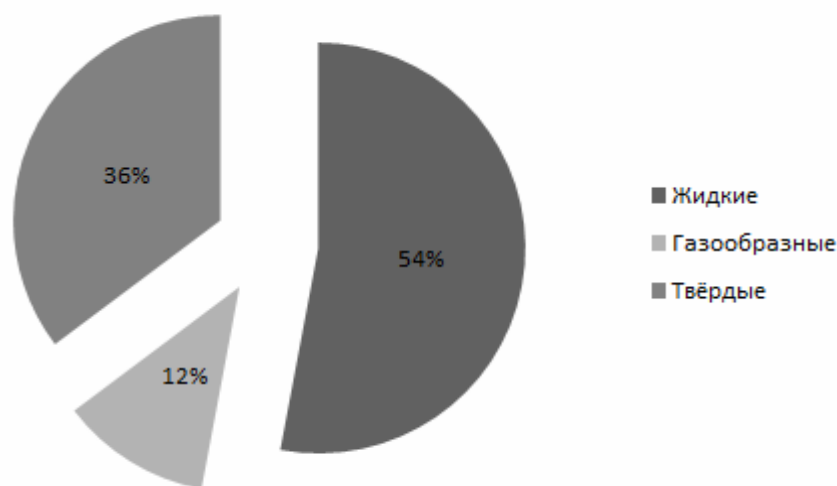


Рис. 1 Схема технологического процесса утилизации шин методом пиролиза

Пиролиз является недооцененным на территории РФ из-за высоких энергетических затрат, но при рациональном использовании продуктов переработки их можно уменьшить за счет повторного использования продуктов переработки.

Продукты переработки пиролиза широко применяются в цементной промышленности для нагрева сырья, а также в качестве альтернативного источника отопления в поселениях недалеко от предприятий по переработке. Полученные жидкие фракции, мазуты, допустимо применять для строительства автомобильных дорог при укладке асфальтного полотна. Твердые фракции представляют углеродосодержащий остаток и металлокорд. Металл, образующийся в процессе разложения пригоден для последующего использования в машиностроительной промышленности. Углеродосодержащий остаток допустимо использовать в качестве альтернативного брикетированного топлива.

На основе вышеизложенной рекомендуется распространение пиролиза, как основного способа для утилизации шин в России. Это не только повысит эффективность ликвидации накопленных запасов шин, но и позволит России соответствовать европейским амбициям в экологии, что в дальнейшем позволит избежать вероятных санкций от зарубежного сообщества по поводу сохранения экологии планеты.

### Список литературы

[1]. [Электронный ресурс] <http://colesa.ru/news/66942/> (дата обращения 22.09.2021).

[2]. [Электронный ресурс] <https://kuzpress.ru/ecology/17-10-2020/77922.html> (дата обращения 22.09.2021).

[3]. *Переработка шин в России и мире // Твердые бытовые отходы.* – 2018. – № 6(144). – С. 32-36.

[4]. *Бурьлова Ю.В.* Обзор методов утилизации автомобильных шин / Ю.В. Бурьлова, Г.Т. Армишева // *Химия. Экология. Урбанистика.* – 2021. – Т.-1. – С. 187-191.

[5]. [Электронный ресурс] <https://www.forbes.ru/newsroom/obshchestvo/434749-evrosoyuz-predstavil-samuyu-ambicioznuyu-strategiyu-zashchity-klimata/> (дата обращения 22.09.2021).

[6]. *Петровский Э.А., Коленчуков О.А., Смирнов Н.А.* Технологическая реакторная линия для повышения эффективности пиролиза нефтесодержащих отходов // *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса.* – 2021. – №. 4. – С. 16-20.

**Мазин Дмитрий Сергеевич** – студент кафедры «Экология и промышленная безопасность», КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [mazin03092001@yandex.ru](mailto:mazin03092001@yandex.ru)

**Черенков Александр Григорьевич** – студент кафедры «Подъемно-транспортные системы», КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [al.cherenkov2013@yandex.ru](mailto:al.cherenkov2013@yandex.ru)

## АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ РЕКИ ОКИ НА ПРИМЕРЕ Г. КАЛУГИ

Вода является одним из самых больших ресурсов на Земле, так как составляет 70% ее покрова. Ее используют практически во всех сферах жизни человечества. Пресная вода – важный элемент, применяемый в бытовых и промышленных целях. В среднем на одного городского жителя приходится около 250 литров воды, а в месяц около – 5500.

Загрязнение пресной воды – прямое или не прямое попадание в реки, озера и подземные воды загрязнителей по причине отсутствия качественных мер по очистке и удалению вредных веществ. Это одна из самых важных проблем современного мира. Тысячи химических веществ попадают в водные бассейны и оказывают негативное воздействие не только на водные экосистемы, но и на все остальные в целом.

Река Ока – самый крупный правый приток реки Волги. Ее исток находится в самом сердце России – на Среднерусской возвышенности. Общая длина Оки более 1,4 тыс. км. Суммарная площадь бассейна Оки около 245 тыс. кв. км. Так же, она является одной из самых крупных по протяженности рек в Калужской области, общая длина которой достигает 160 км.[1]

В данной статье будет проведен анализ основных загрязнителей реки Оки на территории города Калуги.

В соответствии с последним докладом «О состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области» за 2019 год [2], было выяснено, что каждый год проводится анализ проб воды реки Оки в районе города Калуги в двух местах: на 0,5 километра выше сброса сточных вод совхозом им. Циолковского и на 0,6 километров ниже г. Калуги (номера пунктов на карте № 138 (рис. 1)).

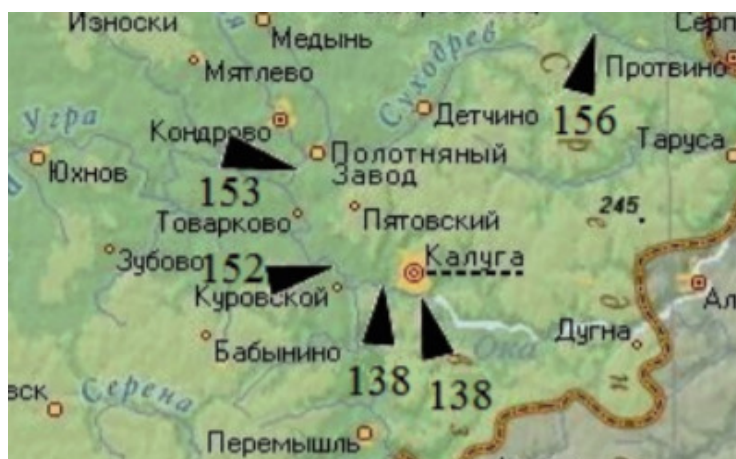


Рис. 1. Карта расположения пунктов наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на территории Калужской области

Наибольшую долю в оценку загрязненности на данном участке реки Оки вносили ионы тяжелых металлов таких как железо и медь, азот аммонийный и нитритный, а также органические вещества по БПК<sub>5</sub> и ХПК, однако загрязненность по ним на низком уровне.

Проведем анализ значений среднегодовых концентраций основных загрязнителей реки Оки в районе г. Калуги в долях ПДК за последние пять лет (рис. 2).

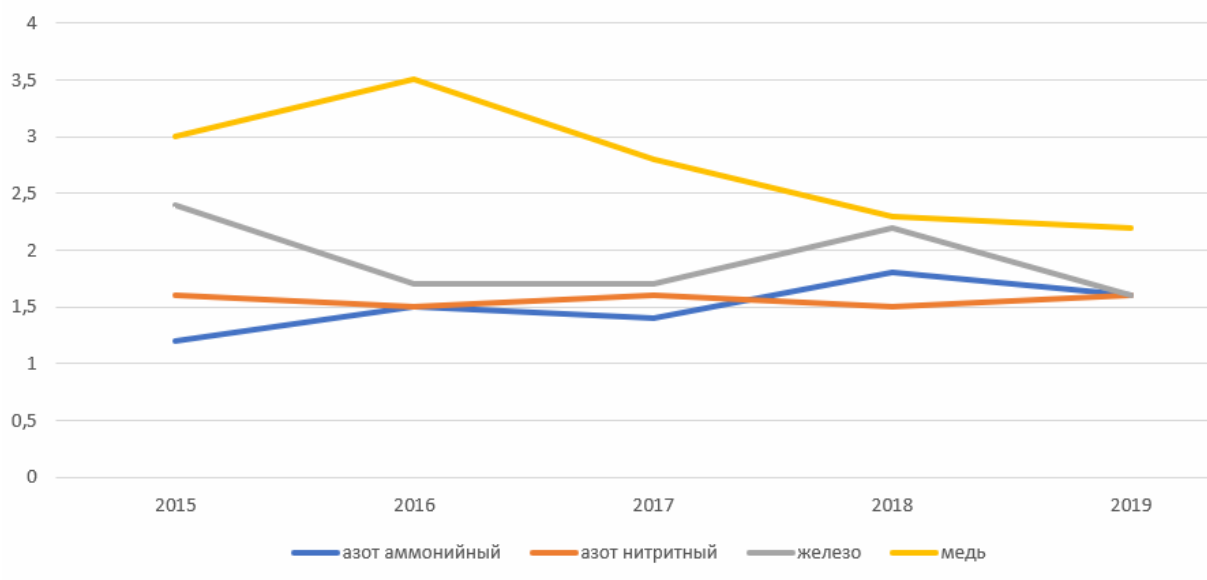


Рис.2. Изменение значений среднегодовых концентраций в долях ПДК загрязнителей р. Оки в районе г. Калуги за 2015-2019 г.

В результате анализа данных было выяснено, что загрязнение вод реки Оки ионами тяжелых металлов (медь, железо) значительно снизилось по сравнению с 2015 г. Загрязнение азотом нитритным осталось на прежнем уровне, а азотом аммонийным – увеличилось. Максимальное значение среднегодовой концентрации в доли ПДК азота аммонийного приходится на 2018 год, а меди – на 2016 год.

Сравним значения среднегодовых концентраций загрязнителей за данный период (табл. 1) с нормативами ПДК водных объектов рыбохозяйственного значения (табл. 2). [3]

Таблица 1.

**Данные осреднегодных концентрациях загрязнителей р. Оки за 2015-2019 г.**

Вещество	Среднегодовая концентрация в доли ПДК, мг/л				
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Азот аммонийный	1,2	1,5	1,4	1,8	1,6
Азот нитритный	1,6	1,5	1,6	1,5	1,6
Железо	2,4	1,7	1,7	2,2	1,6
Медь	3,0	3,5	2,8	2,3	2,2

**Нормативы ПДК**

Загрязняющее вещество	Норматив ПДК, мг/л
Азот аммонийный	0,400
Азот нитритный	0,020
Железо	0,100
Медь	0,001

В результате сравнения можно сделать следующие выводы: среднегодовая концентрация железа снизилась до 1,6 , что все равно превышает норму в 16 раз; среднегодовая концентрация меди снизилась до 2,2 , однако данный показатель превышает норму в 220 раз; среднегодовая концентрация азота аммонийного увеличилась до 1,6. Превышение нормы ПДК в 4 раза; среднегодовая концентрация азота нитритного не изменилась и составляет 1,6 , что превышает норматив ПДК в 80 раз.

**Список литературы**

[1]. *Ока: настоящее, прошлое и будущее: моногр.* / Л.Б. Маврин, А.Ю. Воробьев, А.В. Водорезов, А.В. Чернов, Л.Ю. Рубцова, А.А. Бутко. Ряз. гос. ун-т им. С.А. Есенина. Рязань, 2019. – 86 с.

[2]. *Доклад* о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области в 2019 году. – Ижевск: ООО «Принт», 2020.–300 с.

[3]. *Приказ* Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года №552 «Об утверждении нормативов качества воды объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями на 10 марта 2020 года).

**Романова Дарья Юрьевна** – студент ИУК7-71Б. E-mail: rockismysoulxx@yandex.ru

**Никулина С.Н.** –

## **ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РОДНИКОВЫХ ВОД**

Родники считаются первыми от поверхности земли неизменного водоносного горизонта, который принадлежит первому водоупорному слою. Они появляются, из-за осадков и просачивания под землю воды из поверхностных водоёмов.

В следствии загрязнения родниковых вод происходит ухудшения химического состава и качества воды, тем самым вода становится не пригодной к употреблению.

Микроорганизмы способны вызывать микробиологическое загрязнения родниковых вод. К таким микроорганизмам относятся бактерии, вирусы, грибы, которые могут находиться в самых верхних водоносных горизонтах, связанных с атмосферой и почвами.

Результаты наблюдений и исследований подземных вод Калужии области уже несколько лет показывают отсутствие в них пестицидов. Насыщенность тяжелых металлов в воде предельно малы и в продолжение всех исследований была намного ниже предельно допустимой.

Однако наблюдение за подземными водами, которое проводится каждый год, начиная с 1995, показывает, что ухудшение качества и свойств воды из них по мере приближения центру города. В воде из многих родников, которые расположены на территории Калуги, увеличилось количество нитратов и общей микрофлоры.

Источниками их проникновения в грунтовые воды являются загрязненные территории, свалки мусора, а также канализационные коллекторы.

Нисходящие родники сильнее всего загрязнены из-за того, что насыщаются водами из атмосферных осадков. После выпадения кислотных дождей концентрация нитратов возрастает в несколько раз.

В родниках Калужской области присутствие кишечных палочек и микробов превышает допустимые значения. В большинстве родников, которые находятся на склонах, количество кишечной палочки зашкаливает.

Из 34 обследованных родников 16 (47,1 %) страдают хроническим общим микробным загрязнением воды и присутствием кишечной палочки в пределах или выше допустимых значений.

Не малое влияние на качество родниковых вод Калужской области оказывает содержание нефтепродуктов. В воде 26 (76 %) родников обнаружены нефтепродукты, в 14 (41 %) случаев концентрация нефтепродуктов близка предельно допустимой. Нефтепродукты поступают в них из-за пробок, и различных объектов связанных с автомобилями.

Также можно упомянуть про разрушение покрова газонов на улицах Калуги и во дворах, уничтожение инфраструктуры дворов неупорядоченным передвижением автомобилей, что напрямую ведет к снижению процессов само-

стоятельному очищению почвы и, следовательно, к ухудшению качества воды из родников.

Из обследованных родников только 10 (29 %) соответствуют требованиям СанПин 2.1.4.1175-02.

Результат наблюдения показывает, Калужские родники испытывают агрессивное влияние города.

Местоположение и описание родников	Соответствие СанПин 2.1.4.1175-02
«Здоровец» Березуевский овраг	Не соответствует: высокое содержание нитратов, микроорганизмов и кишечной палочки
Деревня Галкино	Соответствует
Бывшее подворье Лаврентьевского монастыря	Не соответствует: высокое содержание нитратов, микроорганизмов и кишечной палочки
Площадка на пересечении улиц Садовой, Нижнесадовой, Широкой	Не соответствует: высокое содержание нитратов
За домом № 12 по ул. Садовой	Не соответствует: высокое содержание нитратов
Железняки (спуск от д. №36 по ул. Парковой)	Не соответствует: высокое содержание нитратов, микроорганизмов и кишечной палочки
Деревня Болотное, центральная часть, правый склон Яченки	Не соответствует: высокое содержание нитратов, микроорганизмов и кишечной палочки
Деревня Карачево, центр, недалеко от 60-х домов, левый берег Яченки	Не соответствует: высокое содержание нитратов, микроорганизмов и кишечной палочки
Гремучий родник. Около 300 м к северо-западу от северной окраины деревни Карачево	Соответствует
Деревня Горанское, 170 м к северу от центральной части, пойма оврага	Не соответствует: высокое содержание нитратов, микроорганизмов и кишечной палочки
Ул. Терепецкая, правый берег Терепца, 20 м от русла, спуск от дома № 36	Не соответствует: высокое содержание микроорганизмов и кишечной палочки
Конец ул. Терепецкой рядом с д. №41 и №43	Соответствует
Деревня Ермолосво, спуск от Азаровского детского дома	Не соответствует: высокое содержание нитратов, микроорганизмов и кишечной палочки
Деревня Ермолосво, напротив ул. Кибальчича	Не соответствует: высокое содержание микроорганизмов и кишечной палочки
Бывшая деревня Азарово, 15 м вниз от конца ул. Чистые Ключи	Не соответствует: высокое содержание нитратов, микроорганизмов и кишечной палочки
Бывшая деревня Азарово, между д. 17 и д. 19 по ул. Чистые Ключи	Не соответствует: высокое содержание микроорганизмов и кишечной палочки
Спуск от дома № 9 по ул. Яновских (бывшая деревня Азарово)	Не соответствует: высокое содержание микроорганизмов и кишечной палочки
Деревня Косарево, северо-восточная окраина	Не соответствует: высокое содержание микроорганизмов и кишечной палочки
Деревня Кукареки, центр	Соответствует
Бушмановка ключ. Левый берег Киевки напротив д. №68 по ул. Хрустальной	Соответствует
Святой родник, Ждамирово	Соответствует
Турьино, 220 м вниз от дамбы на ул. Советской	Не соответствует: высокое содержание нитратов
Турьиинские Дворики, 50 м по склону Калужки	Не соответствует: высокое содержание микроорганизмов и кишечной палочки
Левый склон Киевки, 70 м от русла	Не соответствует: высокое содержание аммиака
Правый берег Оки, к северо-востоку от деревни Пучково, низье	Не соответствует: высокое содержание аммиака, микроорганизмов и кишечной палочки
Деревня Пучково, правый склон оврага, 1 м над дном	Не соответствует: высокое содержание микроорганизмов и кишечной палочки
Правый берег Оки, 350 м на север от деревни Некрасово, напротив ул. Беляева	Соответствует
Водозабор «Покровские ключи»	Соответствует
Ул. Заречная, около 200 м в направлении Оки	Соответствует
Деревня Квань, недалеко от д. 16 по ул. Трамплинной	Не соответствует: высокое содержание нитратов
пос. Ольговка, возле гряда	Не соответствует: высокое содержание нитратов
Деревня Воровая, недалеко от д. №69	Не соответствует: высокое содержание нитратов, микроорганизмов и кишечной палочки
Деревня Жельбино, д. №19-23	Соответствует
Деревня Квань, спуск от д. 7 по ул. Трамплинной	Не соответствует: высокое содержание нитратов

Вывод – подземные воды на данном этапе развития научного прогресса несет в себе большую опасность. Поэтому грунтовые воды, которые распола-

гаются на территории Калуги, больше не могут быть альтернативой водопроводной воде.

Оценка опасности биологического загрязнения родников и водозаборов имеет большое значение не только для обоснования размеров зон санитарной охраны, но и для выбора метода складирования отходов и участков размещения животноводческих ферм, свалок, полей фильтрации, полей орошения сточными водами, при выяснении безопасных расстояний от источников бактериального загрязнения до водозаборов, при искусственном пополнении запасов подземных вод поверхностными и сточными водами.

### Список литературы

[1]. *Бешенцев В.А.* Охрана подземных вод от загрязнения : учебное пособие / В. А. Бешенцев, Н. С. Трофимова. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2013. — 48 с. — ISBN 978-5-9961-0737-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/55422> (дата обращения: 04.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

[2]. *Стрелков А.К.* Охрана окружающей среды и экология гидросферы : учебник / А.К. Стрелков, С.Ю. Теплых – 2-е изд. перераб. и доп. – Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. – 488 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256154> (дата обращения: 04.11.2021). – Библиогр.: с. 449-453. – ISBN 978-5-9585-0523-4. – Текст : электронный.

[3]. *Широков Ю.А.* Техносферная безопасность: организация, управление, ответственность : учебное пособие / Ю.А. Широков – 2-е изд., стер. – СПб : Лань, 2019. – 408 с. – ISBN 978-5-8114-4224-9. – Текст: электронный : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/116355> (дата обращения: 04.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

**Трунов Сергей Андреевич** – студент. E-mail: [trunov-014@list.ru](mailto:trunov-014@list.ru)  
**Никулина С.Н.** –



В.А. Гузеева, С.Н. Никулина

## АНАЛИЗ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД

Вода – это один из источников энергии человека. Поэтому наличие чистой воды, очень важно. В настоящее время нужно оберегать ресурсы нашей планеты, так как с каждым годом их становится все меньше. Проблема дефицита водных ресурсов становится актуальной с каждым днем из-за изменения климата и деятельности человека. Население планеты постоянно растет, тем самым увеличивая потребление воды. Человеку необходимо пить около 8 стаканов воды в день, и многие все больше задумываются, какого качества вода попадает им в дом. Так же многие производства, сельское хозяйство, предприятия питьевого водоснабжения предъявляют определенные требования к качеству вод, в частности, к минерализации, так как воды, содержащие большое количество солей, отрицательно влияют на растительные и животные организмы, технологию производства и качество продукции [5].

Под минерализации понимают сумму всех минеральных веществ в воде при химическом анализе. Минеральные воды формируются в толще земной коры. Там они проходят естественную обработку, преодолевая путь через горные и земные породы с разнообразными геотермическими, гидрогеологическими и геохимическими условиями, в зависимости от которых и будет формироваться химический и микроэлементный состав, температура и другие показатели конечного природного продукта [3].

В Калужской области числятся 8 месторождений (участков месторождений) минеральных подземных вод, из них 4 месторождения в распределенном фонде недр, 4 месторождения – в нераспределенном. Суммарные запасы минеральных вод составляют 2 993,0 м<sup>3</sup>. В 2019 г. доля подземных вод в общем балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения составила 58 %. По состоянию на 01.01.2020 по предварительным данным государственного баланса запасов на территории Калужской области утверждены запасы в количестве 691,62 тыс. м<sup>3</sup>/сут по 265 месторождениям (участкам) пресных подземных вод [6].

В природных водах обнаружено в основном две группы минеральных солей. К первой группе, которую еще называют «главными ионами», относятся катионы (Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) и анионы (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Ко второй группе относятся катионы (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, тяжелые металлы, железо общие) и анионы (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). У каждого элемента из группы есть своя предельная допустимая концентрация (ПДК) [4].

Существуют уровни минерализации воды. Низкий уровень обусловлен содержанием солей до 50-100 мг/дм<sup>3</sup>, тем самым она неприятна на вкус и в ней содержится малое количество минералов.

Если на протяжении некоторого времени пить такую воду может сбиться обмен веществ в организме. Большая часть воды, которую мы пьем, является

среднеминерализованной, так как интенсивно воздействуют на ткани и органы человека. Так же существует избыток солей в воде, то есть их концентрация превышает  $1000 \text{ мг/дм}^3$ , что негативно влияет на здоровье человека. Высокий уровень минерализации часто обусловлен содержанием калия, солей соляной кислоты и натрия [1].

Для определения минерального состава природной воды используют разные методы. Например, существуют экспресс – метод определения рН воды.

В пробирку с исследуемой водой опускается лакмусовая бумажка, после прохождения пары минут и сравнивается цвет со шкалой рН, тем самым определяется щелочность воды. Если бумажка по цвету совпадает с нейтральной или слабощелочной зоной шкалы, значит, она пригодна к употреблению.

Наличие солей в воде можно проверить экспресс методом даже в домашних условиях.

Изучают несколько видов воды: питьевую, минеральную и лечебно-столовую. Пробы воды наливают в стакан и дают немного отстояться, потом капают несколько капель на чистое стекло. Питьевая вода выдает контур из солей, минеральная вода имеет расплывчатый контур, но при этом внутренняя часть следа будет заполнения беловатым налетом ну, а контур лечебно-столовой воды более плотно заполнен белым налетом. Этим методом мы не можем определить точную концентрации соли в воде, а лишь сможем понять ее наличие, что не может являться гарантией качества воды для употребления [2].

Для определения содержания хлора в воде можно использовать всеми известный экспресс-тест измерение остаточного активного хлора. Сущность метода состоит в окислении активным хлором йодида калия до йода, который титруют тиосульфатом натрия.

В начале готовится буферно-индикаторный раствор. В ампулу для анализа помещают отмеренные мерной пробиркой  $20 \text{ см}^3$  анализируемой воды, прибавляют  $1 \text{ см}^3$  индикаторного раствора, хорошо перемешивают и оставляют в темном месте на 2 – 3 мин., за которые раствор окрашивается в коричневый цвет. Во вторую пипетку набирают около 1 мл раствора-титранта и, держа пипетку под углом  $45^\circ$ , по одной капле прибавляют раствор-титрант к анализируемой пробе, хорошо перемешивая после каждого прибавления.

Раствор-титрант прибавляют до обесцвечивания пробы. Исходя из количества добавления раствора, делают вывод по содержанию активного хлора в воде [1].

Все же если нужно сделать более точный анализ минерального состава природных вод стоит обратиться к рассмотрению методов, которые тщательнее изучат состав воды.

### Список литературы

1. *Алексеев Л.С.* Контроль качества воды / Л. С. Алексеев. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 302 с.

2. *Панов В.П.* Теоретические основы защиты окружающей среды: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В.П. Панов – Москва: Издательский центр "Академия", 2008. – 320 с.

3. *Петин А.Н., Лебедева М.Г., Крымская О.В.* Анализ и оценка качества поверхностных вод Учебное пособие. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2006. – 252 с.

4. *Фрог Б.Н.* Водоподготовка / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко. - М.: МГУ, 2007. – 254 с.

5. *Юдаев И.В.* Возобновляемые источники энергии: учебник для вузов / И.В. Юдаев, Ю.В. Даус, В.В. Гамага. – 2-е изд., стер. – СПб: Лань, 2021. – 328 с. – ISBN 978-5-8114-8523-9 – Текст: электронный: электронно-библиотечная система – URL: <https://e.lanbook.com/book/176666> (дата обращения: 29.10.2021).

6. *Справка о состоянии и перспективах использовании минерально-сырьевой базы Калужской области на 15.06.2020.г*  
<https://www.rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202011/0ca529bb75f35591f3e50d84773e9232.pdf>

**Гузеева Виктория Александровна** – студент ИУК7-71Б КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: [victoriaguzeeva@yandex.ru](mailto:victoriaguzeeva@yandex.ru)

**Никулина С.Н.** –

## АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ПРИРОДНЫХ ВОД Г. КАЛУГИ

Вода имеет ключевое значение в создании и поддержании жизни на Земле, в химическом строении живых организмов, в формировании климата и погоды. Для России, основной источник водных ресурсов - речной сток. Кроме того, большое значение имеют вековые запасы воды в озерах, а также подземные воды.

Через территорию Калуги и пригородной зоны протекают малые реки Киевка, Яченка, Терепец и основная водная артерия Калужской области – река Ока. Эти водные объекты являются источниками питьевой и технической воды для города, бытовой и поливной для жителей прибрежных домов и дачников, местом летнего отдыха для горожан и рыболовов-любителей. И в то же время воды этих рек являются приемниками промышленных и бытовых сточных вод: очищенных, недостаточно очищенных и неочищенных. Суммарный сброс сточных вод в эти объекты в границах городской черты составляет около 1500 тыс.м<sup>3</sup> воды в год. При этом большая часть сбросов имеет превышение нормативов содержания загрязняющих веществ [1].

Из-за загрязнения поверхностных и подземных вод, используемых для водоснабжения растет уровень заболеваемости населения. Действие загрязняющих токсичных веществ весьма специфично. Избыток в питьевой воде ртути нарушает функции почек и нервной системы; алюминия - оказывает нейротоксическое действие, вызывая заболевания Альцгеймера; икеля - поражает сердце, печень, вызывая онкологические заболевания, кератиты; свинца - поражение почек, нервной системы, органов кроветворения, авитаминозы. Опасность представляют также кальций, магний, железо и др., а также сульфаты, хлориды, цианиды. Избыток в воде кальция и магния вызывает мочекаменную болезнь, склероз, гипертонию, заболевание сердечно-сосудистой системы; сульфатов - диарею, желчно- и мочекаменную болезни; хлоридов – гипертонию, заболевание сердечно-сосудистой системы. Поэтому работа по сбору и анализу данных о загрязнениях городских водных объектов имеет актуальный характер [3].

На 2021 год Калуга является промышленно развитым городом. Прежде всего, это предприятия военно-промышленного комплекса, 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. Так же загрязнению гидросферы существенно способствует деятельность сельскохозяйственных предприятий, разработка карьеров, наличие городских свалок, трубопроводы и транспортные хозяйства. В городе зарегистрированы десятки источников выбросов вредных веществ в поверхностные воды [5].

Грунты зоны аэрации и грунтовые воды загрязнены в меньшей степени. Наиболее распространенными загрязняющими компонентами в подземных водах города являются хлориды, нитраты, сульфаты и сульфиды, а так же натрий, кальций, магний, железо, марганец, тяжелые металлы, мышьяк, ПАВ, СПАВ, нефтепродукты, фенолы, амины. Бактериологическое загрязнение обычно вызывается бактериями группы кишечной палочки. Небольшие отклонения, порядка 2-4 ПДК по кадмию, свинцу, никелю, марганцу, обнаружены в скважинах и колодцах в северо-западном районе г. Калуги. Бактериологическое и химическое загрязнение грунтовых и подземных вод выявлено во многих скважинах. 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 [4].

В поверхностных и незащищенных подземных водах имеются мышьяк, висмут, олово, бериллий, ниобий, иттрий, кадмий, алюминий, бор, железо. По данным научного центра ООО фирмы «Экоаналитика» за 2020 год среднее содержание тяжелых металлов в этих водах составило:

- Pb=0,05-0,15 мг/л при ПДК=0,03мг/л;
- Ni=0,0005-0,23 мг/л при ПДК=0,05мг/л;
- Cr=0,001-0,089 мг/л при ПДК=0,05 мг/л (хром в целом);
- V= 0,0005-0,035мг/л; Zn=0,034мг/л при ПДК=0,01мг/л;
- Mn=0,008-0,460мг/л при ПДК=0,01мг/л;
- Ba=0,02-0,7мг/л при ПДК=0,005мг/л;
- P=0,84мг/л при ПДК=0,05 мг/л.

Содержание нефтепродуктов колеблется от 0,02мг/л до 0,99мг/л, в зависимости от района. Фенол обнаружен в пределах 0,0002-0,019мг/л, что выше ПДК в 19 раз. Водородный показатель поверхностных вод - рН=6,6-7,2 [2].

В большей части территории распространения загрязненных горизонтов грунтовых и подземных вод они имеют гидрокарбонатный кальциево-магниевый или кальциевый и натриевый состав с минерализацией 92-4983 мг/л.

Для удаления из стоков и воды загрязняющих веществ необходимы очистные сооружения. Они являются частью системы, без которой функционирование водоотвода не возможно. В Калуге эксплуатируются крупные сооружения всех типов для города и окружающих населенных пунктов. Основными являются механический, биологический и физико-химический методы очистки. Обязательным для сброса в водоем сточных вод является дезинфекция для удаления бактериологических загрязнений.

Питьевая вода один из важнейших природных ресурсов. Быстрые темпы развития промышленности прямо влияют на ухудшение качества столь ценного ресурса. Это делает работу по сбору данных о загрязнителях водных объектов, их учет и анализ важнейшей задачей экологии. Знания о количественном и качественном составе загрязняющих веществ помогут в разработке методов борьбы с ними и предотвращении их попадания в гидросферу.

### Список литературы

1. Доклад о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории калужской области в 2018 году – Калуга: Правительство Калужской области Министерство природных ресурсов и экологии Калужской области, 2019.
2. Состояние и охрана окружающей среды в Калуге: сборник материалов. – Калуга: Издательство ООО фирма «Экоаналитика», 2020. – 66 с.
3. [Электронный ресурс]: Боровский Е.Э. Вода в природе. Дефицит чистой пресной воды.- М., «Чистые пруды», 2017. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=115383>
4. [Электронный ресурс]: Водные отношения – Калуга: Правительство Калужской области Министерство природных ресурсов и экологии Калужской области, 2021. – Режим доступа: [https://admoblkaluga.ru/sub/ecology/water\\_relations/](https://admoblkaluga.ru/sub/ecology/water_relations/)
5. [Электронный ресурс]: Загрязнение поверхностных и подземных вод г. Калуги. - Калуга: ТИСИЗ. – Режим доступа: <https://pandia.ru/>

**Иванова Марина Евгеньевна** – студент ИУК7-71Б КФ МГТУ им. Баумана. E-mail: [marinaivanova485.ivanova@yandex.ru](mailto:marinaivanova485.ivanova@yandex.ru)

**Никулина С.Н.** –

## АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ (БПК<sub>5</sub>) РЕКИ ОКИ

Биологическое потребление кислорода или БПК – такое количество кислорода, которое расходуется на аэробное биохимическое окисление под воздействием микроорганизмов и разложение нестойких органических соединений, которые содержатся в изучаемой воде.

Рассматривается БПК<sub>5</sub>, так как он представляет собой важный критерий уровня загрязнения водоема органическими веществами, биологическое потребление кислорода показывает количество легкоокисляющихся органических загрязнений в воде. По этому показателю можно судить степень загрязненности водоемов, представлено в таблице 1 [1].

Таблица 1

### Степень загрязнённости водоёмов исходя из значения БПК<sub>5</sub>

Степень загрязнения (классы водоемов)	БПК <sub>5</sub>
Очень чистые	0.5 - 1.0
Чистые	1.1 - 1.9
Умеренно загрязненные	2.0 - 2.9
Загрязненные	3.0 - 3.9
Грязные	4.0 - 10.0
Очень грязные	> 10.0

При анализе определяется количество кислорода, которое уходит за данное время (обычно 5 суток – БПК<sub>5</sub>) без доступа света при 20°C на окисление загрязняющих веществ, которые содержатся в единице объема воды, вычисляется разница между концентрациями растворённого кислорода в пробе воды непосредственно после отбора и после инкубации пробы [2]. Увеличение БПК<sub>5</sub> в водах — показатель повышенного содержания органики. Попадая в почву, загрязненная субстанция заражает подземные воды, грунт, что негативно сказывается на окружающей среде.

В природной воде водоемов всегда присутствуют органические вещества — останки животного происхождения, погибшие растения и т.д. Кроме природных, существуют также техногенные источники органических веществ с разных предприятий и заводов, сельскохозяйственные и фекальные стоки и т.д. Их разрушение осуществляется бактериями. Процесс носит название анаэробного биохимического окисления, результатом становится выделение двуокиси углерода. При этом окисление проходит с участием растворенного в жидкости O<sub>2</sub>. Чем больше органических включений, тем больше кислорода необходимо на их переработку. Поэтому превышение показателя БПК<sub>5</sub> в 40 раз, например, будет указывать на высокую загрязненность субстанции — уровень кислорода резко снижается, что приводит непригодности воды.

Нормативы содержания  $O_2$  в питьевой воде – 9-11 мг/л при температуре  $+22^{\circ}C$ [3].

При очистке воды от органических примесей лучше всего использовать метод экстракции, флотации, адсорбции, электрофлотации, коагуляции и прочие. Удаление тонкодисперсных примесей возможно с использованием фильтрующих установок с зернистыми или тканевыми картриджами. Также для очистки можно использовать реагенты и дальнейшее отстаивание. Хотя для очистки воды от высокодисперсных органических примесей чаще всего используются флокуляция и коагуляция [4-6].

Река Ока является одним из наиболее крупных притоков р. Волги. На территории Калужской области качество воды р. Оки в 2020 году в фоновом и контрольном створах (условное поперечное сечение водотока, используемое для оценок и прогноза качества воды, сборы осуществляются в разных точках русла реки) не изменилось по сравнению с предыдущим годом (загрязненная и очень загрязненная соответственно). Превышения ПДК были отмечены по 7 показателям из 14. Наибольшую долю в оценку загрязненности на всем рассматриваемом участке вносили железо и медь, летучие фенолы, азот аммонийный и нитритный, а также органические вещества по БПК<sub>5</sub> и ХПК, однако загрязненность по ним классифицировалась как характерная и тяготеющая к низкому уровню (рис. 1).

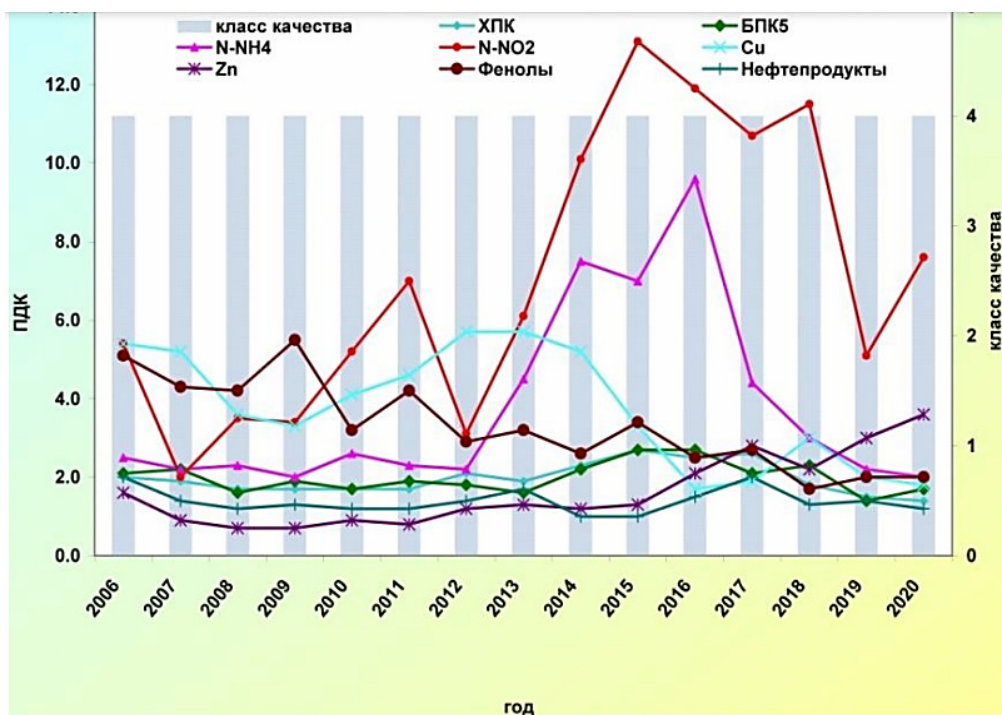


Рис. 1. Динамика среднегодового содержания загрязняющих веществ в воде р. Ока

Характерными загрязняющими веществами воды реки являются: органические вещества (по БПК<sub>5</sub> и ХПК) и соединения меди практически по всему течению реки; нитритный азот – в верхнем течении ниже городов Орел и Калуга и далее по течению; аммонийный азот – ниже гг. Калуга; соединения цинка – на территории Московской области [7-8].



На основании анализа можно сделать следующие выводы:

1) Показатель БПК<sub>5</sub> практически не менялся в период с 2006 по 2013, а в период с 2014 начал расти, что свидетельствует о повышении концентрации органических загрязнений в реке Оке, следовательно водоем загрязнен органикой: сахара, формальдегиды, спирты, фенолы, нафтолы, крезолы, анионогенные ПАВ, сульфанол и др., но, преодолев пик в 2016 году, пошел на спад. Содержание растворенного в воде кислорода не опускалось ниже 7,07 мг/куб. дм. Случаев высокого и экстремально высокого загрязнения не зарегистрировано.

2) В 2020 г. вода притоков р. Ока оценивалась: в 41,4% как «загрязненная», 48,8% – как «грязная», 4,1% - как «экстремально грязная», 5,7% – как «слабо загрязненная».

### Список литературы

[1]. *Белюсова А.П.* Качество подземных вод: Современные подходы к оценке. М.: Наука, 2001. – 339 с.

[2]. *Лейте В.* Определение органических загрязнений питьевых природных и сточных вод. С нем. Под ред. Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1975. – 199 с.

[3]. *Муравьев А.Г.* Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. 3-е изд., доп. и перераб. – СПб.: «Крисмас+», 2019. – 248 с.

[4]. *Пааль Л.Л., Кору Я.Я. и др.* Справочник по очистке природных и сточных вод. М.: Высшая школа, 1994.

[5]. *Руководство по химическому и технологическому анализу воды.* В надзаг.: ВНИИ ВОДГЕО. М.: Стройиздат, 1973.

[6]. *Яковлев С.В., Краснобородько И.Г., Rogov В.М.* Технология электрохимической очистки воды. Л.: Стройиздат, 2018. – 312 с.

[7]. *Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020 год.* Росгидромет // URL: [http://www.meteorf.ru/upload/iblock/d94/Obzor\\_2020\\_070721.pdf](http://www.meteorf.ru/upload/iblock/d94/Obzor_2020_070721.pdf) (дата обращения: 25.10.2021)

[8]. *ПДК водных объектов рыбохозяйственного значения (Приказ о Росрыболовства от 18.01.2010 №20)*

**Емельянова Яна Геннадьевна** – студентка КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия. E-mail: emelianova\_yana00@mail.ru

**Никулина С.Н.** –

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>СЕКЦИЯ 1.</b>	
<b>ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ.....</b>	<b>3</b>
<i>Е.Н. Малышев, М.С. Вишневский</i>	
ВЛИЯНИЕ НАСТРОЙКИ СБОРНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ.....	4
<i>А.О. Штокал, Е.В. Рыков, А.В. Артемьев, Е.А. Никишкин, В.К. Шаталов, В.А. Богачев, О.П. Баженова, Т.В. Рожкова, В.Д. Демина, И.В. Солдатова, Д.В. Сергеев</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИАМЕТРА СФЕРЫ УПОРА НА СТОЙКОСТЬ МДО-ПОКРЫТИЯ ПЛОЩАДКИ К ВИБРОДИНАМИЧЕСКОМУ НАГРУЖЕНИЮ ПРИ ВЫВЕДЕНИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ЦЕЛЕВУЮ ОРБИТУ.....	6
<i>А.Н. Малышев, А.Г. Орлик, К.В. Яшкин, М.Ф. Гроссман</i>	
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОСРЕДСТВОМ МЕТИЗОВ.....	16
<i>В.В. Калмыков, И.А. Хамадальнил Дави, М.Ф. Гроссман, А.С. Криницын</i>	
ОЦЕНКА ПАРНОГО ЭФФЕКТА ВЛИЯНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ И ПОДАЧИ.....	19
<i>Д.С. Денисова, Д.Ш. Мыханова</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ.....	22
<b>СЕКЦИЯ 2.</b>	
<b>ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....</b>	<b>25</b>
<i>Д.М. Медведев, М.С. Антохин, И.Н. Зыбин</i>	
ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ.....	26
<i>О.И. Пономарев, А.Г. Орлик, Г.В. Орлик</i>	
ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ АНТИОБРАЗИВНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	29
<b>СЕКЦИЯ 3.</b>	
<b>ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА.....</b>	<b>31</b>
<i>А.С. Двухшерстнов, М.К. Бурухин, В.В. Андреев</i>	
ПОЛУЧЕНИЕ МДП ТРАНЗИСТОРОВ СО ВСТРОЕННЫМ И ИНДУЦИРОВАННЫМ КАНАЛОМ В ОДНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ.....	32

***Д.А. Кондратов, В.В. Андреев*** 38

СХЕМА УСИЛЕНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ..... 38

#### **СЕКЦИЯ 4.**

#### **ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ГИДРОМАШИНЫ ..... 42**

***А.А. Лазарев, А.А. Анкудинов***

АКТУАЛЬНОСТЬ ПАРАДОКСА ГРЕЯ ..... 43

***А.В. Ващенко, В.Ю. Савин***

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ИЗНОСА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ  
ПРИ ПЕРЕКАЧИВАНИИ АБРАЗИВНЫХ ГИДРОСМЕСЕЙ ..... 46

***В.И. Голубев, В.Ю. Савин***

ВЫБОР СХЕМЫ РАЗГРУЗКИ ПЛАСТИН НАСОСА ДВОЙНОГО  
ДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ..... 49

***П.В. Суркова, В.Ю. Ильичев***

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР FREECAD ДЛЯ СОЗДАНИЯ  
ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГОУСТАНОВОК..... 52

***Н.А. Азаренко, О.Г. Шитохина***

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ  
ПЛАСТИНЧАТОГО НАСОСА ..... 55

***И.А. Сухоненков, О.Г. Шитохина***

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С КАВИТАЦИЕЙ В ПЛАСТИНЧАТЫХ НАСОСАХ..... 59

***И.А. Лембак, В.Ю. Ильичев***

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ЛОПАТОЧНЫХ ДИФFUЗОРОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ  
КОМПРЕССОРОВ..... 61

***А.В. Качурин, В.Ю. Ильичев***

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ УПЛОТНЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГТД,  
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УПЛОТНЕНИЯ МОДУЛЯ МСУ-800 ..... 64

***А.С. Мкртчян, А.А. Жинов***

ОБЗОР МЕТОДИК ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МУСОРА..... 67

***Е.С. Назаров, Д.В. Шевелев***

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ДРОССЕЛЬНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА ЭТАПЕ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ..... 71

***А.А. Козырев, А.А. Жинов***

ПЕРВИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ МАРСИАНСКОЙ  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ..... 74

***А.А. Лазарев, О.Г. Шитохина***

СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ  
И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА ..... 76

<i>Д.Б. Алферин, Д.В. Шевелев</i>	
ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ШОКОВОЙ ЗАМОРОЗКИ МЯСА.....	78
<i>А.А. Жариков, Н.А. Кашинов, В.Р. Резчиков, Д.В. Шевелев</i>	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ.....	82
<b>СЕКЦИЯ 6.</b>	
<b>ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ.....</b>	<b>86</b>
<i>А.Н. Дросков</i>	
АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ ГОРОДА НА ПОДЗЕМНЫЕ ИСТОЧНИКИ .....	87
<i>Ю.М. Жукова, В.Ю. Ильичев, И.В. Шамов</i>	
ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ.....	91
<i>К.Л. Анфилов, Т.С. Моторова</i>	
ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПЭТФ.....	96
<i>Е.Э. Комарова, М.И. Морозенко</i>	
ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СБОРА БИОГАЗА НА ПОЛИГОНАХ ТКО .....	101
<i>Д.С. Мазин, Д.Ю. Зубарев, Н.М. Пятов, Е.А. Заверткин, В.С. Шувалов</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГУМУСА НА ОСНОВЕ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТМАСС С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОЖДЕВОГО ЧЕРВЯ LUBRICUS TERRESTRIS L.....	107
<i>С.А. Белоусова, Р.В. Ломтева, Ю.М. Жукова</i>	
ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В РФ .....	110
<i>С.А. Кусачева, М.Е. Сафронова, В.Ю. Ильичев</i>	
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОБНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	114
<i>Ю.М. Жукова, В.Ю. Ильичев</i>	
РАСЧЁТ СВОЙСТВ ВЫБРОСОВ ПРИ ИЗВЕСТНОМ СОСТАВЕ ТОПЛИВА .....	118
<i>Ю.М. Жукова, В.Ю. Ильичев</i>	
СОСТАВ ВЫБРОСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ .....	122
<i>Я.М. Литвинова, С.Н. Никулина</i>	
СПОСОБ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	125

<b><i>Д.С. Мазин, А.Г. Черенков</i></b>	
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПИРОЛИЗА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ШИН В РОССИИ .....	128
<b><i>Д.Ю. Романова, С.Н. Никулина</i></b>	
АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ РЕКИ ОКИ НА ПРИМЕРЕ Г. КАЛУГИ .....	131
<b><i>С.А. Трунов, С.Н. Никулина</i></b>	
ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РОДНИКОВЫХ ВОД .....	134
<b><i>В.А. Гузеева, С.Н. Никулина</i></b>	
АНАЛИЗ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД .....	137
<b><i>М.Е. Иванова, С.Н. Никулина</i></b>	
АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ПРИРОДНЫХ ВОД Г. КАЛУГИ .....	140
<b><i>Я.Г. Емельянова, С.Н. Никулина</i></b>	
АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ (БПК <sub>5</sub> ) РЕКИ ОКИ .....	143

**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 21.11.2021  
Формат 60x90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс»  
Печ. л. 9,34. Усл. п. л. 8,72

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