

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  
Региональной научно-технической конференции**

**Том 2**



УДК 378:001.891  
ББК 74.58:72  
Н34

**Руководитель конференции:**

*С.А. Кусачева* (председатель совета по НИР студентов и аспирантов)

**Руководители направлений:**

*А.И. Пономарев* (ф-т КМК), *Ю.С. Белов* (ф-т ФНК), *М.Ю. Адкин* (ф-т ЭИУК),  
*А.Г. Вяткин* (ф-т МТК), *О.А. Артеменко* (ф-т СЭК)

**Руководители секций:**

*Е.Н. Малышев, Г.В. Орлик, В.В. Андреев, А.А. Жинов, Ю.П. Корнюшин,*  
*Н.Е. Шубин, А.И. Пономарев, А.К. Рамазанов, А.А. Анкудинов, Б.М. Логинов,*  
*В.Г. Косушкин, А.В. Мазин, А.А. Шубин, А.К. Горбунов, А.В. Максимов,*  
*В.Н. Пащенко, М.В. Астахов, Е.Н. Сломинская, О.Л. Перерва, Г.И. Ловецкий,*  
*А.Ю. Красноглазов, В.М. Алакин*

Н34      **Научно-технологические технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе:** материалы региональной научно-технической конференции, 18–20 апреля 2017 г. Т. 2. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 216 с.

В сборнике материалов Региональной 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, 2017  
© Калужский филиал МГТУ  
им. Н. Э. Баумана  
© Издательство МГТУ  
им. Н. Э. Баумана, 2017

## **СЕКЦИЯ 6.**

### **ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ**

К.С. Белоусова, Ю.М. Жукова, Я.В. Щербакова

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТОЧНЫЕ ВОДЫ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Целесообразность выбора того или иного метода очистки вод и водоподготовки зависят от состава, концентрации, режима поступления и объема стоков, требований к очищенной воде, необходимость и возможность регенерации компонентов, и повторного использования вод.

Реагентная обработка воды приводит, как правило, к вторичному загрязнению водоемов, к тому же водоподготовка и очистка вод является многостадийным процессом.

Эффективными и экологически целесообразными являются методы безреагентной очистки сточных вод от ТМ.

В данной работе рассматривалась возможность применения лазерного излучения в процессе очистки гальваностоков.

Главным преимуществом лазерной обработки промышленных сточных вод приводит к сокращению расхода реагентов для очистки токсичных сточных вод, сокращению времени проведения реакций, что ведет к уменьшению объемов используемых емкостей и снижению капитальных затрат при строительстве очистных сооружений [6].

Лазерное излучение является одной из новейших разработок в области очистки пресной воды. Обработку лазерными лучами невозможно отнести ни к одной из известных категорий, так как в ней не используется ни газ, ни жидкость, ни механический импульс, а применяется сила импульсов света. Это совершенно особый метод, который входит в категорию методов ударной обработки, поскольку здесь используется ионная бомбардировка [1].

Воздействие лазера на тяжелые металлы основано на фотомеханической реакции, происходящей при взаимодействии между пучком света, исходящим из лазера в коротких импульсах высокой интенсивности и загрязняющим слоем [4].

Существуют следующие методы определения содержания хрома (VI) и общего хрома:

– фотометрические методы определения содержания:

а) хрома (VI) и общего хрома в природной и питьевой воде, в том числе расфасованной в емкости первой категории, сточных водах и очищенных сточных водах при массовой концентрации хрома (VI) и общего хрома от 0,025 до 25;

б) хрома (VI) в воде любого типа при массовой концентрации от 0,05 до 3;

– методы атомной спектроскопии:

а) метод определения содержания общего хрома в природных и питьевых водах при массовой концентрации от 0,02 до 10, сточных и очищенных сточных водах при массовой концентрации от 0,5 до 20 с использованием пламенной атомной абсорбции;

б) метод определения содержания общего хрома в питьевых, природных, сточных и очищенных сточных водах при массовой концентрации от 0,002 до 10 с использованием атомной абсорбции с электротермической атомизацией. При этом определение содержания общего хрома в питьевых водах проводят по ГОСТ 31870;

в) метод определения содержания общего хрома в питьевых, природных, сточных и очищенных сточных водах при массовой концентрации от 0,001 до 50 с использованием атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой [2].

Большое внимание уделяется по применению безреагентных методов на основе излучений для обеззараживания вод. Если процесс обеззараживания ультрафиолетовым излучением изучен довольно хорошо и в настоящее время внедрены процессы в различных областях очистки и подготовки вод, то электромагнитные методы пока только на стадии исследований [3-5].

**Материалы и методика исследований.** В данной работе рассматривалось влияние лазерного излучения на сточные воды гальванического производства.

Сточные воды гальванического производства различают по составу загрязнений, режиму сброса и концентрации.

По режиму сброса стоки подразделяются на постоянно поступающие разбавленные воды от проточных ванн после промывки в них деталей - промывные воды и периодически сбрасываемые из непроточных ванн - отработанные концентрированные электролиты и растворы.

По составу загрязнений сточные воды делятся на четыре группы: кислотно-щелочные, цианосодержащие, хромосодержащие, фторсодержащие.

Облучению подвергались хромосодержащие воды гальванического производства, отобранные на производстве, как до очистных сооружений предприятия, так и после них.

Сточные воды гальванического производства (хромосодержащие) облучали лазером при частота повторения импульсов лазерного излучения (мощность) - 1500 Гц и в течение 2, 5 и 10 минут, при длине волны 635 мкм. После облучения пробы отфильтровали через быстро фильтрующую для грубо дисперсных осадков бумагу. Фильтры в течение 48 часов оставили для полного высыхания.

Гранулометрические параметры облучаемых образцов воды изучили на лазерном анализаторе микрочастиц «ЛАСКА – 1К».

**Результаты экспериментов.** На графике (рис. 1) представлены результаты гранулометрических параметров исследуемых образцов на лазерном анализаторе микрочастиц «Ласка-1К».

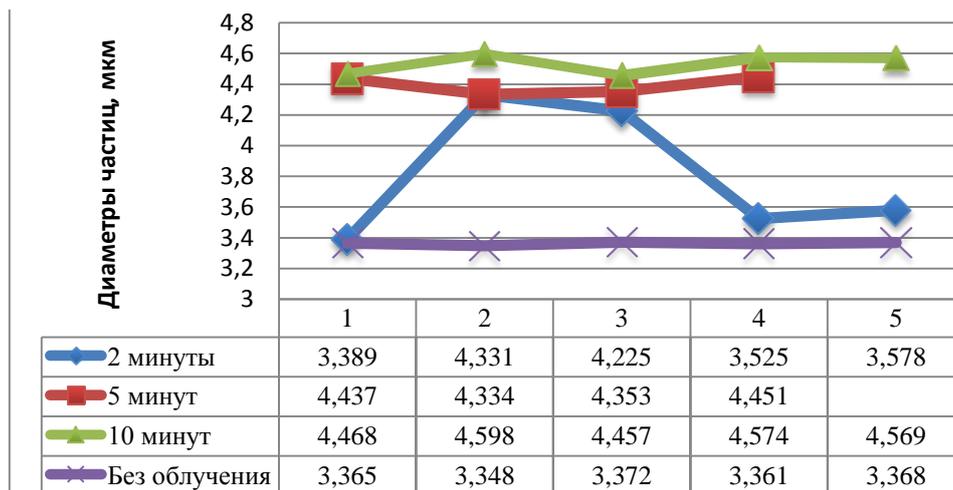


Рис. 1. График распределения диаметров частиц хромсодержащих стоков после лазерного облучения при двух, пяти и десяти минутах

По результатам исследований можно сделать вывод, что при облучении образцов лазерным инфракрасного спектра происходит укрупнение частиц, присутствующих в сточных водах гальваностоков, что позволяет данный эффект наблюдать как визуально, так и аналитически.

### Список литературы

- [1] Дмитриева Т.В., Коржавый А.П., Лапа Н.Н. Влияние лазерного излучения на выведение металлов из водных модельных растворов // Научные технологии. 2006. Т. 7. № 4-5. С. 48-56
- [2] Зубрилов С.П. Теоретические основы безреагентной обработки воды электромагнитными полями с частотами  $10^6$  Гц. Вестник государственного университета морского и речного флота им. Адмирала С.О. Макарова. 2010 № 1 с. 157-162.
- [3] Коржавый А.П., Капустин В.И., Козьмин Г.В. Методы экспериментальной физики в избранных и технологиях защиты природы и человека / Под ред. Коржавого. М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. 352 с.,
- [4] Яковлева О.В., Никулина С.Н. воздействие лазерного излучения на процесс обеззараживания и очистку сточных вод после гальваники // Научные технологии. 2012. Т. 13. № 2. С. 79-84.
- [5] Никулина С.Н., Жукова Ю.М., Дыхно Я.Н., Куликова И.И., Санютина Я.А. Воздействие лазерного излучения на процесс обеззараживания воды и очистку родниковых вод г. Калуги / Научные технологии. 2015. Т. 16. № 1. С. 79-85.
- [6] Шейнкман Л.Э., Дергунов Д.В., Тимофеева В.Б. Очистка промышленных сточных вод от тяжелых металлов с использованием лазерного излучения / Экология и промышленность России, 2015. Т. 19. № 5. С. 26 – 30.

**Белоусова Кристина Сергеевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: snegurka092@mail.ru

**Жукова Юлия Михайловна** – канд. техн. наук, зам. зав. каф. по научной работе КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dazhf1@mail.ru

**Щербакова Яна Владимировна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kotosowa.ya@yandex.ru

А.В. Олейник, С.Н. Никулина

## **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМ МУСОРОМ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Проблема засорения околоземного космического пространства «космическим мусором» как чисто теоретическая возникла по существу сразу после запусков первых искусственных спутников Земли в конце пятидесятих годов двадцатого века. Официальный статус на международном уровне она получила после доклада Генерального секретаря ООН под названием «Воздействие космической деятельности на окружающую среду» 10 декабря 1993 г., где особо отмечено, что проблема имеет международный, глобальный характер: нет засорения национального околоземного космического пространства, есть засорение космического пространства Земли, одинаково негативно влияющее на все страны прямо или косвенно участвующие в его освоении.



Рис. 1. Космический мусор в околоземном пространстве

Под космическим мусором подразумеваются все искусственные объекты и их фрагменты в космосе, которые уже неисправны, не функционируют и никогда более не смогут служить никаким полезным целям, но являющиеся опасным фактором воздействия на функционирующие космические аппараты, особенно пилотируемые.

Активное освоение космоса началось еще в XX веке. С возрастанием количества запусков космических аппаратов актуализируется и вопрос о загрязнении околоземного пространства, что ведет к возникновению космического мусора.

Объектом нашего анализа является космический мусор.

Предметом— проблема засорения им околоземного пространства.

За неполных четыре десятилетия космической эры в околоземных орбитах накопилось семь с половиной тысяч только каталогизированных фрагментов космического мусора. Первый пояс мусора находится на высоте 850–1200 км от поверхности Земли. А между тем столкновение любого фрагмента размером более 1 см с действующим спутником может стать причиной прекращения его функциональной деятельности[1].

Весь этот мусор создает дополнительные сложности для дальнейшего освоения космоса. В отличие от обычного наземного мусора он не локализован в одной области, а носится с огромной скоростью вокруг нашей планеты. Тем самым он создает угрозу для действующих спутников. Согласно оценкам, к настоящему времени по своим орбитам вокруг Земли летает уже более 600 тысяч фрагментов космического мусора размером более 1 сантиметра.

В некоторых случаях, крупные или содержащие на борту опасные (ядерные, токсичные и т. п.) материалы объекты космического мусора могут представлять прямую опасность и для Земли – при их неконтролируемом сходе с орбиты, неполном сгорании при прохождении плотных слоев атмосферы Земли и выпадении обломков на населенные пункты, промышленные объекты, транспортные коммуникации и т. п. Размер космического мусора может достигать до нескольких метров, но чаще всего это мелкие частицы, такие как металлическая стружка и краска. Несмотря на свои небольшие размеры, такие обломки часто движутся со скоростью более 27 000 км/ч – достаточно быстро, чтобы нанести значительный ущерб космическим кораблям.

В дополнение к сотням отслеживаемых объектов, Землю окружают десятки и сотни тысяч ненаблюдаемых мелких фрагментов вплоть до пылевой и газовой фракций. Эти невидимые для наземных систем частицы достаточны, чтобы катастрофически повредить спутник. В США в результате специально поставленных экспериментов на «Шаттле» по регистрации ударов было выявлено, что из тысяч ударов по космическому кораблю до 50 % приходится на частицы мусора. Например, металлический осколок размером 0,5 мм, летящий со скоростью 10 км/с, может пробить скафандр космонавта. Удар 2-миллиметровой частицы в лобовое стекло «Челленджера» потребовал замены панели остекления. Осколки в 1 см уже чрезвычайно опасны для космических комплексов[2].

Таким образом можно сделать вывод, что космический мусор опасен для пилотируемой космонавтики.

По данным управления ООН по вопросам космического мусора объектов, относящихся к космическому мусору (поперечником более 10 мм) колеблется в пределах 60000-100000. Только 10% от этого числа отслеживается. Принимая же во внимание космический мусор с поперечником менее 10 мм, количество объектов достигает приближенного значения к 100600000.

В таблице 1 приведены более конкретные данные касательно вида космического мусора.

Таблица 1. Количество и состав космического мусора

Состав космического мусора	Количество космического мусора
< 1 см	>100000000
1-10 см	>500000
> 10 см	>21000

В общее понятие «космический мусор» входят 2 типа мусора, это:

1. астероиды и кометы, блуждающие по Солнечной системе и засоряющие ее; 2. детали отработанных космических кораблей, которые вращаются около Земли или летят к другим планетам и спутникам, а в дальнейшем станут таким же мусором у этих объектов Солнечной системы.

Но чаще всего термин «космический мусор» относят ко второму типу.

По данным научно-исследовательского испытательного центра ЦНИИ войск воздушно-космической обороны Минобороны РФ можно отметить, что, начиная с 1960 года, было осуществлено более 5 тыс. запусков, однако в ходе одного запуска можно выводить несколько спутников. Поэтому запущено было всего около 30 тыс. аппаратов. А после того как произошла фрагментация некоторых крупных аппаратов, их насчитывается более 35 тыс. Речь о крупных объектах свыше 20–25 см. Сейчас из них на орбите остались две трети спутников, остальные сошли с орбиты. При этом наблюдается гораздо больше объектов, чем закаталогизировано (свыше 17 тыс. объектов) [3].

Ниже приведена история заполнения околоземного пространства объекта разных категорий с 1957 года.

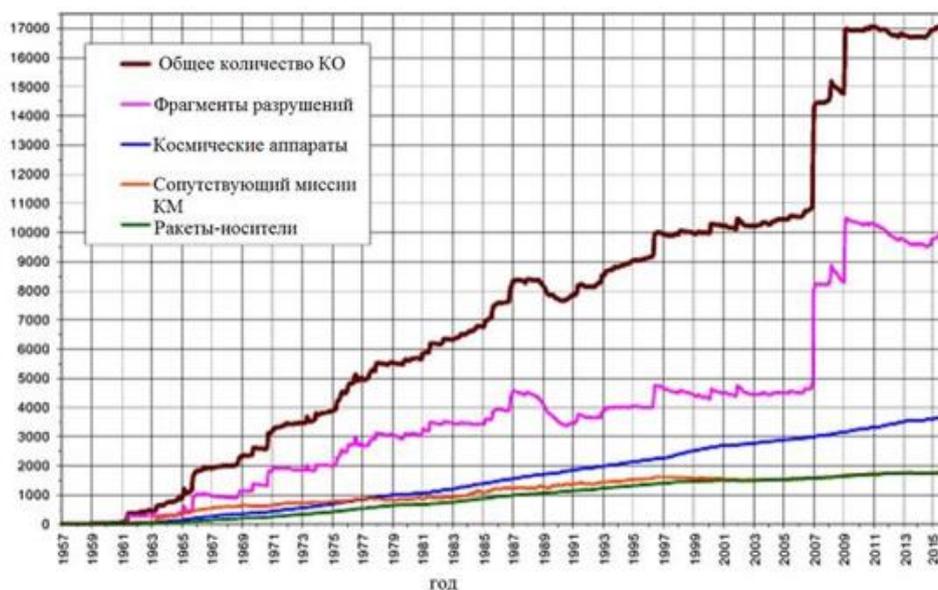


Рис. 2. История заполнения околоземного пространства объекта разных категорий с 1957 года

В результате проведенного анализа, можно сделать вывод, что пространство вокруг Земли постепенно засоряется космическим мусором в виде обломков ракет-носителей, а также астероидов и комет, что может привести к тому, что вскоре человечество не сможет выйти в космическое пространство и все то, что находится на орбитах в итоге разрушится окончательно и безвозвратно.

### Список литературы

[1] *Брюхань Ф.Ф.* Влияние различных отраслей народного хозяйства на состояние окружающей среды: [в т. ч. о негативном воздействии ракетно-космической деятельности на околокосмическое пространство]. – М., 2012. – Глава 8. – С. 156–157.

[2] *Геворкян Э.В.* Культурный слой // Наука и религия. – 2013. – № 4. – С. 2–6.

[3] *Лескова Н.С.* Необходима космическая экология // Наука и религия. – 2012. – № 4. – С. 24–25.

**Олейник Анастасия Вадимовна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fnk.oleynik1996@yandex.ru

**Никулина Светлана Николаевна** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: voinsveta579@mail.ru

И.Е. Федулов, С.Н. Никулина

## **ВЛИЯНИЕ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Вода является наиболее распространенным растворителем и играет важную роль в природе и в жизни человека. Молекулы воды обладают выраженной полярностью, обуславливающих разветвленные водородные связи, которые распределены по объему воды и могут быть сгруппированы. Области с повышенным содержанием водородных связей принято считать кластерами. Особенности структурного строения воды и ее метастабильность позволяют последней откликаться на внешнее воздействие любой природы [1]. Кроме этого, показано сохранение водой физической структуры и свойств после воздействий различного характера.

Открытие радиоволн и развитие техники радиосвязи привели к значительному увеличению в тропосфере уровня электромагнитных волн радиодиапазона. Поэтому актуальны исследования, связанные с воздействием радиоизлучения на воду и водные растворы.

(СВЧ излучение) – электромагнитные излучения, включающие в себя сантиметровый и миллиметровый диапазон радиоволн, создающих электромагнитные излучения наибольшей интенсивности. Микроволны – это очень короткие электромагнитные волны, которые перемещаются со скоростью света (300 км в секунду) и несут большую энергию [2].

Сверхвысокочастотное электромагнитного поле частотой 2450 МГц или 2,45 ГГц взаимодействует с молекулами воды. Микроволны воздействуют на молекулы воды, заставляя их вращаться с частотой миллионы раз в секунду, создавая молекулярное трение и тепло, которое и нагревает воду [3].

Кроме этого, в результате воздействия СВЧ-излучения на воду возможна ионизация молекул воды, т.е. атом может приобрести или потерять электрон, – а это меняет структуру воды.

СВЧ-излучение также может привести к деформации и разрушению молекул. СВЧ-излучение может создавать новые соединения, не существующие в природе, называемые радиолитическими. В научной литературе и интернете имеются сообщения о том, что полив семян растений водой, подвергнувшейся воздействию СВЧ-излучения, приводит к ухудшению всхожести семян и угнетает развитие растений. Также показано, что воздействие СВЧ-излучения на чистую воду приводит к увеличению водородного показателя воды примерно до  $pH = 8$  [4].

Относительно биологического воздействия СВЧ-излучения на живые организмы следует отметить, что проблема СВЧ-воздействия на живые организмы является частью общей проблемы воздействия на них слабых

внешних факторов разной физической природы, таких как электромагнитные волны, радиоволны и др.

В общих чертах, биологическое действие электромагнитных излучений оптического и микроволнового диапазонов не имеет принципиальных отличий. Считается, что в основе эффекта лежат структурно-функциональные изменения мембранных образований клеток и внутриклеточных органелл, которые являются мишенями электромагнитного поля. В результате такого взаимодействия создается физико-химическая основа для изменения процессов метаболизма, связанного с переносом протонов и электронов, а уже на этой основе возникают последовательные неспецифические реакции клетки и организма в целом [5].

При воздействии излучением миллиметрового диапазона на микроорганизмы, энергия излучения не только поглощается молекулами воды и/или другими молекулами, но и может аккумулироваться путем структурных перестроек на гидрофильной поверхности с вытеснением протонов из приповерхностных слоев.

Последние исследования влияния электромагнитного излучения оптического и инфракрасного диапазона на воду, находящуюся на границе фаз, показали, что широкие макроскопические области жидкости на границе фаз приобретают свойства, отличные от обычной объемной воды.

Суть описанного феномена нагрева воды до появления первых пузырьков воздуха и последующего мгновенного охлаждения производится для того, чтобы процесс охлаждения и последующей кристаллизации имел лавинообразный характер. В данном случае в объеме охлаждаемой воды формируется много центров кристаллизации, а сама кристаллизация воды происходит быстрее; в этом случае замедляется тепловое движение молекул воды и формирование водородных связей между ними происходит более предпочтительнее. При медленном охлаждении воды процесс охлаждения воды носит диффузный характер и эти эффекты, наблюдаемые при скачкообразном охлаждении минимальны.

При СВЧ - облучении воды наблюдается эффект ее «самопросветления». Применение только микроволновой водообработки не обеспечивает достижения требуемого качества воды. Такая обработка приводит не только к разрушению содержащихся в ней микроорганизмов, но и к активации органических включений с образованием высокомолекулярных соединений. Очень часто характер воздействия этих соединений не предсказуем и может привести к серьезным последствиям.

Поглощение излучения СВЧ-диапазона водой обусловлено ориентационной поляризацией молекул. В качестве противодействующих эффектов выступают межмолекулярное взаимодействие и тепловое движение молекул. Диэлектрические потери определяются сдвигом фазы поляризации. Низкоинтенсивное излучение может вызывать изменение физических и химических свойств воды, сохраняющееся во времени. Электромагнит-

ное поле изменяет решетку молекул воды, ориентируя диполи, увеличивает протонную плотность в местах повреждения дипольных цепочек, а также заставляет диполи осциллировать [6].

### Список литературы

[1] Бессонова А.П., Стась И.Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства воды и ее спектральные характеристики // Ползуновский вестник. – 2008. - №3 . – С.305-309.

[2] Груздов В. В., Колковский Ю. В., Концевой Ю. А. Контроль новых технологий в твердотельной СВЧ электронике // Техносфера, Москва, 2016. [Электронный ресурс] // Издательство «Директ-Медиа». 2001-2016. URL: [https://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=444853](https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=444853) (дата обращения 27.03.2017).

[3] Соколова Ж. М. Микроволновые приборы и устройства: учебное пособие. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2009. [Электронный ресурс] // Издательство «Директ-Медиа». 2001-2016. URL: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=237993](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=237993)(дата обращения 27.03.2017).

[4] Левин Е.В., Сагитов Р.Ф., Буракаева А.Д., Шабанова С.В. - Аппаратный тип технологического процесса при очистке сточных вод // Экология и промышленность России - 2015г. №2. [Электронный ресурс] // Электронно-библиотечная система Издательства Лань, 2016. URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/1840/#authors> (дата обращения 26.03.2017).

[5] Зубрилов С. П. Теоретические основы безреагентной обработки воды электромагнитными полями с частотами 106–500·106 ГЦ // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. № 1 (5) / 2010 . [Электронный ресурс]//Научная электронная библиотека «Киберленинка». URL:<http://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-osnovy-bezreagentnoy-obrabotki-vody-elektromagnitnymi-polyami-s-chastotami-106-500-106-gts> (дата обращения 28.03.2017).

[6] Хашаев З.Х-М., Кожокару А.Ф., Шекшеев Э.М. Влияние облученной ЭМИ дистиллированной воды на растительные объекты / Тр. Междунар.конф. “Интеллектуальные САПР” – С.274-281.

**Федулов Илья Евгеньевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: [ilyafed2009@yandex.ru](mailto:ilyafed2009@yandex.ru)

**Никулина Светлана Николаевна** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [voinsveta579@mail.ru](mailto:voinsveta579@mail.ru)

Н.А. Шахматова, С.Н. Никулина

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ РОДНИКА ГОРОДА КАЛУГИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Химический состав подземных вод в естественных условиях относительно стабилен, поэтому может служить эталоном для оценки изменений происходящих под влиянием комплекса антропогенных факторов урбанизированных территорий.

Целью работы является оценка изменений качества воды и состояние родника г. Калуги под влиянием урбанизации территории.

Важным объектом при изучении современного качества природной воды могут служить родники в связи с исключительной чувствительностью к воздействию техногенных факторов.

Родники представляют собой выходы грунтовых и подземных вод на поверхность под влиянием естественных условий. Они зачастую являются исходными источниками поверхностных водоемов и играют важную роль в поддержании водного баланса и в сохранении стабильности биоценоза. Водоносные пласты, питающие родники, могут находиться на глубине нескольких десятков метров, что при благоприятных условиях должно исключать их загрязнение. Вода из родников может быть пресной или минерализованной. Проходя через слои песка и гравия, родниковая вода подвергается естественной очистке перед тем, как попасть на поверхность земли, поэтому она сохраняет природные качества, структуру и свойства.

Родниковые воды в целом ряде случаев используются для организации питьевого водоснабжения, обустройства курортных баз, санаториев, зон отдыха и т.д. Им придается такое большое научное, рекреационное и культурно-историческое значение.

Гидрогеологические особенности города Калуги и его пригородов характеризуются обилием родников, как восходящих, так и нисходящих. Некоторые родники расположены на улицах города и активно посещаются горожанами.

На сегодняшний день родники регулярно посещают около 69 тысяч калужан [5]. Посещение родников – это не только использование альтернативных источников чистой питьевой воды. Исследования российских, немецких и швейцарских ученых свидетельствуют о благоприятном влиянии родников на человека, находящегося в условиях антропоэкосистемы. Частое посещение родников и длительное (не менее 30 минут) пребывание возле родника способствует снятию психического напряжения, нормализации артериального давления, стабилизации деятельности вегетативной нервной системы. Это связано с благоприятной шумовой гаммой родника, окружающим ландшафтом и аурой, которую создает родник в месте своего выхода из-под земли.

Результаты десятилетнего исследования воды родников г. Калуги свидетельствуют об отсутствии в ней пестицидов. Концентрация тяжелых металлов в воде незначительна и в течение всего срока наблюдения была во много раз ниже предельно допустимой. Родниковая вода содержит микроэлементы, необходимые для жизнедеятельности организма. Однако при кипячении минеральный состав родниковой воды значительно изменяется. Кипячение родниковой воды является, к сожалению, обязательным условием ее безопасного употребления в связи с поступлением в воду значительного количества микроорганизмов[1,2].

В ходе многолетнего экологического мониторинга отмечено ухудшение качества родниковой воды по мере приближения к городской черте и центру города. Вода из родников, расположенных на территории города, характеризуется повышенным содержанием нитратов, общей микрофлоры и бактерий группы кишечной палочки. Источниками их поступления в родниковую воду являются загрязненная территория, свалки мусора, канализационные коллекторы.

Большинство родников в городе и пригороде имеют территорию водосбора, находящуюся под огородами и сельхозугодиями[3]. Особенно сильно страдают нисходящие родники, питающиеся, в основном, атмосферными осадками. После кислотных дождей концентрация нитратов в воде нисходящих родников увеличивается в десятки раз.

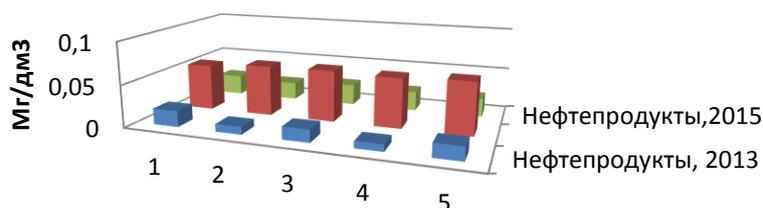
На сегодняшний день концентрация нитратов в родниках превышает допустимый уровень, а присутствие триады азота свидетельствует о продолжающемся поступлении загрязнений. Из 34 обследованных родников 16 (47,1 %) страдают хроническим общим микробным загрязнением воды и присутствием кишечных палочек в пределах или выше допустимых значений. В некоторых родниках, особенно находящихся на склонах оврагов, количество кишечных палочек в воде приближается к значениям, близким к таковым в сточной воде[4].

Для статической обработки были взяты 5 проб воды из одного родника, за период с 2013 по 2015 год. Исследования проводились по роднику на обнаружение нефтепродуктов.

Таблица 1. Результаты измерения загрязненности родниковой воды за период 2013 по 2015 годы

	Период исследования		
	2013	2014	2015
№ пробы	нефтепродукты	нефтепродукты	нефтепродукты
1	0,0081	0,055	0,021
2	0,009	0,059	0,022
3	0,015	0,06	0,023
4	0,016	0,061	0,024
5	0,019	0,062	0,025

## Нефтепродукты, 2013-2015



	1	2	3	4	5
Нефтепродукты, 2013	0,019	0,009	0,015	0,0081	0,016
Нефтепродукты, 2014	0,055	0,06	0,061	0,059	0,062
Нефтепродукты, 2015	0,024	0,021	0,025	0,023	0,022

Рис. 1. Динамика изменения содержания нефтепродуктов в роднике за период 2013 – 2015 годы

По графику №3 превышение по ПДК нефтепродуктов происходит только в 2014 году. А в 2015 наблюдаем значительный спад концентрации содержания нефтепродуктов.

Из данной диаграммы можно сделать вывод, что среднее значение концентрации нефтепродуктов в 2014 году превышает предельно допустимые нормы концентрации в течение всего периода взятия проб.

Анализируя результаты исследований контрольных проб воды из выбранных мест родников, можно констатировать, что пока еще есть соответствующие СанПин, но и они могут попасть под угрозу антропогенного загрязнения, вызванного резким развитием промышленности в Калужском регионе.

### Список литературы

[1] Доможир В.В., Жукова Ю.М., Никулина С.Н., Николаева Т.С. Новые методы обработки и диагностики пресной воды после ее промышленного использования // Научные технологии. 2014 Т.15. №10. С 36-41

[2] Коржавый А.П., Капустин В.И., Козьмин Г.В. Методы экспериментальной физики в избранных технологиях защиты природы и человека / Под ред. А.П. Коржавого. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. 352 с

[3] Лифляндский В.Г. Умная вода: добрая сила природ. СПб.: ООО «Петроглиф», 2015 -64 с.

[4] Молодык А.Д., Морозова Л.Н., Маньшин В.С. Состояние, использование и охрана водных ресурсов: исследование качества воды в родниках городского округа «Город Калуга» // Состояние и охрана окружающей среду в Калуге: Сборник материалов. Калуга: Изд –во ООО фирма «Экоаналитика». 2015. С 19-21

[5] Капустин В.И., Коржавый А.П., Физико-химические методы экологического мониторинга. Кн. 1. Назначение, схемы, конструкции: Учеб. пособие /Под ред. А.П. Коржавого. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. 208 с.

**Шахматова Нина Александровна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nina.shahmatova@yandex.ru

**Никулина Светлана Николаевна** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: voinsveta579@mail.ru

Л.А. Крылова, О.В. Яковлева

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НА ГП «КАЛУГАОБЛВОДОКАНАЛ»**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Появление такого понятия как «мониторинг окружающей среды» в России связано с именем Ю. А. Израэля. В своей точке зрения он акцентирует внимание не только на наблюдении за изменением состояния окружающей среды, но и на прогнозе этой динамики. Так он ввел понятие мониторинга окружающей среды как систему наблюдений, оценки и прогноза антропогенных изменений состояния окружающей природной среды [1].

В качестве функций экологического управления совместно с экологическим мониторингом рассматривают понятие экологического контроля. При этом если экологический мониторинг направлен на контролирование за состоянием окружающей среды, то экологический контроль связан с охраной окружающей среды и направлен на контролирование источников воздействия; уровня техногенной деятельности.

Первоочередная цель экологического мониторинга заключается в обеспечении системы управления природоохранной деятельности своевременной и достоверной информацией, которая позволит дать оценку состояния природной среды и ее отдельных компонентов, выявить причины отклонений от естественных показателей (фоновые измерения) при их наличии, спрогнозировать масштаб последствий таких отклонений, при необходимости определить меры по предотвращению нанесения ущерба окружающей среде [1].

Для того чтобы своевременно получать адекватную информацию о состоянии и об уровне загрязнения различных объектов окружающей среды необходимо располагать надежными средствами и методами экологического контроля, которые должны быть достаточно производительны, оперативны, должны включать, если это требуется, регулярные измерения, а также иметь высокий уровень автоматизации и оптимизации технических средств.

Согласно Федерального закона "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 № 7-ФЗ устанавливаются четыре вида экологического контроля: государственный, муниципальный, общественный, производственный.

Все виды экологического контроля важны. Особую актуальность для стабильной работы городских очистных сооружений имеет производственный экологический контроль.

Целью работы явилось исследование организации производственно-экологического контроля на ГП «Калугаоблводоканал».

Производственный экологический контроль осуществляется экологической службой предприятий, учреждений, организаций в целях обеспечения выполнения в процессе хозяйственной и иной деятельности мероприятий по охране окружающей среды, рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов, а также в целях соблюдения требований в области охраны окружающей среды, установленных законодательством [2].

К таким предприятиям, на которых ведется производственный экологический контроль, можно отнести организации водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) города. Они осуществляют не только подготовку и транспортировку воды для питьевых нужд населения, но и прием, транспортировку и очистку сточных вод, а также сброс очищенных на канализационных сооружениях очистки сточных вод.

Сброс сточных вод в водоемы и водотоки приводит в ряде случаев к значительному повышению солесодержания и изменению ионного состава природных вод за счет попадания микроэлементов (металлов, галогенов) и биогенных веществ (соединений азота и фосфора).

Основной причиной загрязнения водоемов, приводящей к ухудшению качества воды и нарушению нормальных условий жизнедеятельности гидробионтов, является сброс хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, особенно тех отраслей промышленности, которые являются основными потребителями воды: химическая, горнометаллургическая, нефте- и углеперерабатывающая, целлюлозно-бумажная, машино- и приборостроительная отрасли.

Так как состав и количество примесей сточных вод всегда изменяется, то степень негативного воздействия на водоемы не одинаковы.

Поступление их в водоем вызывает нежелательные последствия: засорение водоема нерастворимыми веществами, ухудшение физико-химических свойств воды и кислородного режима, изменение рН, повышение содержания органических веществ и минерализации и наконец, отравление водных обитателей токсичными веществами.

То есть можно сказать, что при сбросе стоков возможно радикальное изменение качественного состояния и гидрохимического режима водоемов. А это, в свою очередь, влечет за собой и ухудшение условий обитания гидробионтов.

Экология является некоторым связующим звеном многих наук, как естественных (география, биология, геология, климатология, химия и другие), так и точных (математика, статистика и другие). Это приводит к накоплению значительных массивов экспериментальных данных, обработка и анализ которых невозможна без информатики. Поэтому в настоящее время актуально говорить не об экологии и информатике как об отдельных существующих науках, а о таком предмете исследования, как экоинформатике – процессе сбора, обработки и хранения экологических данных.

Среди наиболее часто используемых методов и средств экоинформатики, таких как физико-химический анализ состояния природной среды,

методы сбора пространственных данных и информационных технологий большая роль отводится электронным коллекциям и базам данных, которые являются наиболее эффективным средством систематизации данных.

Экологическая информация – понятие, которое уже прочно вошло в лексикон многих экологических предприятий.

В зависимости от назначения различают научно-поисковую информацию и практическую для решения народно-хозяйственных задач.

Познакомившись с организацией деятельности, связанной с обработкой экологической информации, предприятия ВКХ на примере ГП «Калугаоблводоканал», можно справедливо заметить, что на предприятиях подобного типа осуществляется сбор информации для решения народно-хозяйственных задач, для достижения практической цели самого предприятия, с наиболее возможным удешевлением всего процесса сбора. Это достигается тем, что контролируется минимальный набор показателей необходимый и достаточный для надежных практических действий в данной предметной области.

При проведении исследования определено, что для самой организации ВКХ, принимающей сточные воды в систему канализации от совершенно различных источников (это и жилой фонд, пищевые предприятия, автомобильные станции, машиностроительная отрасль и другие) важно постоянно осуществлять контроль их качества.

Общая схема контроля включает этапы:

- отбор пробы;
- обработка пробы с целью консервации измеряемого параметра и ее транспортировка;
- хранение и подготовка пробы к анализу;
- измерение контролируемого параметра;
- обработка и хранение результатов.

Данные о результатах имеют большой объем, так как периодичность отбора проб, как правило, носит ежеквартальный характер, если не прослеживалось грубых нарушений нормативов сброса в канализацию в течение двух контрольных точек.

Накопление данных в простейшем случае происходит в электронных журналах записи, которые чаще всего созданы в таких приложениях, как Microsoft Office Word или Microsoft Office Excel.

Современные информационные технологии обеспечивают широкие возможности систематизации, обработки отображения экологической информации, а также для моделирования различных объектов и процессов.

Для этих целей применяют электронные библиотеки, географические информационные системы (ГИС), экспертные системы, базы данных.

В настоящее время имеется два варианта хранения данных в цифровом виде:

- в базах данных и хранилищах данных с использованием систем управления базами данных (СУБД, Data Base Management Systems - DBMS) с хорошо определенными четкими моделями данных;
- в виде типичных реляционных моделей данных, объектно-реляционных, или объектно-ориентированных моделей с применением специальных прикладных систем файлов, которые широко используется во многих географических информационных системах [3].

В большинстве случаев экоданные состоят из трех видов информации: основная информация о веществе, временная и пространственная информация.

Для организаций ВКХ наиболее удобным в использовании являются базы данных. В основном данные методов экологического контроля отражают физико-химическое состояние исследуемого параметра (концентрация загрязнений в сточных водах), либо некоторую минимальную информацию об источнике (наименование и вид деятельности предприятия, характер стока, состав локальных сооружений очистки сточных вод) и представляются в виде набора таблиц.

Обычно данные, получаемые в процессе контроля, представляют собой ряды последовательных изменений исследуемых показателей во времени, т.е. так называемые временные или динамические ряды наблюдений [3].

Обработка таких рядов с целью их последующего анализа включает, кроме вычисления средних характеристик ряда и отклонений от средних величин, выявление общей тенденции развития процесса, определение цикличности колебаний исследуемых величин, корреляцию временных рядов, прогнозирование последующих изменений показателей.

Некоторые авторы [4] предлагают типизированную структуру базы данных, структуру экологической базы данных можно рассматривать как иерархию определенных блоков (модулей):

- адресно-координатный блок;
- земельно-кадастровый блок;
- ландшафтно-тематический блок;
- блок нормативных показателей;
- блок наблюдений и анализов;
- блок множественных значений.

Как показало проведенное исследование, возможно разработать базу данных практического значения для организаций ВКХ, которая будет содержать информацию о предприятиях-источниках сточных вод, а также данные о качественном составе сбрасываемых ими стоков со следующим набором модулей:

- классификационный блок (разделение предприятий по отраслям экономики);
- блок-список предприятий (для каждой отрасли);

- карточно-информационный блок (минимальная информация о предприятии: наименование, вид деятельности, наличие, состав и год ввода в эксплуатацию локальных очистных сооружений);
- блок нормативных показателей (указание регламентированных значений концентраций при сбросе стоков в канализацию);
- блок наблюдений и анализов (вся совокупность контролируемых ингредиентов, периодически добавляемых в процессе работы).

Предложенный вариант структуры базы данных позволит оптимизировать работу специалистов организации ВКХ при ведении журнала состава и свойств сточных вод абонентов, упростить отслеживание колебаний состава поступающих в систему канализации стоков и величину превышения нормы, что сделает более своевременным контактирование организации ВКХ и надзорных органов в области охраны окружающей среды.

### Список литературы

[1] *Якунина И.В., Попов Н.С.* Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг: уч. пособие. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009. – 188 с.

[2] Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 03.07.2016) "Об охране окружающей среды" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2017)

[3] *Трубина Л.К.* Экологическая информатика: конспект лекций. – Новосибирск, 2012. – 25 с.

[4] Структурирование экологической информации как необходимый этап создания баз данных информационно-управляющих систем/ В.В. Лебедев, И.Н. Гансвинд, И.Н. Горохова, Е.И. Куприянова, И.Б. Прокуронов, В.А. Харитонов [Электронный ресурс]// журнал «Экология промышленного производства» №4, 2009. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12924771> (дата обращения 16.03.2017г)

**Крылова Любовь Александровна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [lyub.al.krylova@yandex.ru](mailto:lyub.al.krylova@yandex.ru)

**Яковлева Ольга Владимировна** – канд. техн. наук, доцент кафедры "Промышленная экология и химия" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [yakowlewaolga24@mail.ru](mailto:yakowlewaolga24@mail.ru)

Н.Н. Бакутина, О.В. Кузнецова, О.В. Яковлева

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЛИВНЕВЫХ СТОЧНЫХ ВОД Г.КАЛУГИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Очистка сточных вод ливневой канализации городов и промышленных предприятий является одной из главных экологических и технико-экономических проблем охраны окружающей среды.

Ливневые сточные воды в основном формируются атмосферными осадками, водой от мойки территории, притоком грунтовых вод, постоянным и периодическим поступлением производственных, а также в небольших количествах хозяйственно-бытовых и близких к ним по составу сточных вод [1]. Для городской территории формирование поверхностного стока является один из механизмов самоочищения, но для рек - один из основных источников загрязнения. Реки в городской черте фактически становятся продолжением ливневой канализации города, являются природными очистными сооружениями [2].

Изучение и очистка ливневых (промышленно-ливневых) сточных вод является в настоящее время актуальным. Проблемы с очисткой ливневых сточных вод стоят достаточно остро для городов России. Такая проблема актуальна и для г. Калуга.

Цель работы – исследование качества ливневых сточных вод, сбрасываемых в водоемы г. Калуга.

Перед выполнением работы были поставлены задачи:

- изучить наличие основных приемников ливневых стоков города и возможные источники дополнительных сбросов в сети канализации;
- оценить качество ливнесброса в водные источники.

Калуга расположена на холмистой местности с большим количеством оврагов, по которым происходит интенсивный смыв поверхностных сточных вод. Географические особенности местности города, большой темп застройки и развитие промышленных районов способствуют развитию и росту водоотводящей сети.

Территория города - это один из факторов формирования поверхностного стока, оказывающий большое влияние на химический состав поверхностных сточных вод. Многообразие сточных вод, режимов поступления и других факторов обуславливает их сложный и переменный состав. Компоненты сточных вод находятся в различных фазово-дисперсных состояниях. Расход воды изменяется в широких пределах от минимального, относительно постоянного, до периодического максимального [3].

Поверхностный сток формируется в период выпадения осадков, снеготаяния и является важнейшим источником загрязнения водных источников города. Дренажные стоки довольно загрязнены и должны проходить

хотя бы первичную очистку - отделение грубых взвесей, но в настоящее время такие мероприятия не проводятся [4].

Водоотводящая сеть в г. Калуга построена так, что ливневые коллекторы подходят к окружающим город водоемам. Из-за отсутствия очистных сооружений ливневой канализации происходит сброс неочищенных сточных вод в основные водоемы города – Яченское водохранилище, р. Терепец, р. Киевка, р. Ока. Свой вклад в загрязнение ливневых вод города вносят неорганизованные стоки с территорий предприятий и незаконные врезки хозфекальной канализации от частного сектора в ливневую канализацию.

Существенные количества промышленно-ливневых сточных вод поступают от предприятий города: ОАО «Калугатрансмаш», АО «Калужский завод «Ремпутьмаш», ОАО «КЗАЭ», АО «КЭМЗ», АО «КЗТА», АО «Калугаприбор», ОАО «Калужский турбинный завод», ОАО «ВОСХОД» – КРЛЗ, три предприятия концерна Volvo, автомобильный завод компании Volkswagen и других. Промыленно-ливневые стоки предприятий ухудшают качественный состав ливневых сточных вод города и при попадании в водный объект оказывают отрицательное влияние на его состояние.

Проведено исследование изменения качества промышленно-ливневых вод г. Калуга, сбрасываемых в четыре основных водоема. В работе приведены результаты наблюдений за качеством промышленно-ливневых вод Яченского водохранилища и р. Ока. Графическими методами строилась зависимость изменения концентрации веществ в течение года для различных водных источников.

Как показал проведенный анализ, практически весь сток, попадающий в Яченское водохранилище – от городских территорий, в том числе от селитебных территорий и частного сектора. Наблюдается значительное превышение ПДК<sub>рыб.-хоз.</sub> по взвешенным веществам, превышение по БПК<sub>5</sub> (рис. 1).

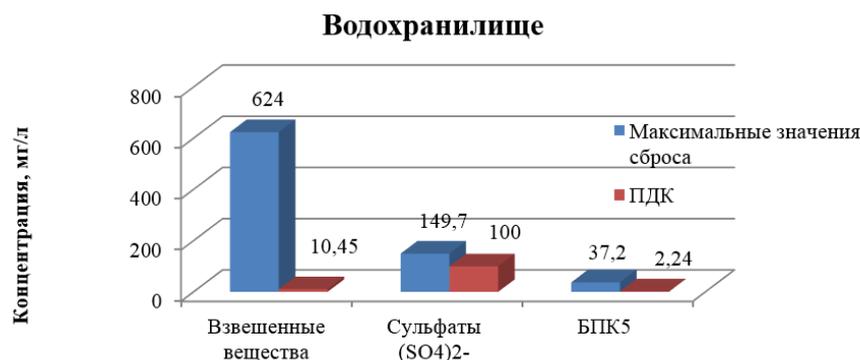


Рис. 1. Показатели сброса ливневых вод по взвешенным веществам, БПК, сульфатам в сравнении с ПДК<sub>рыб.-хоз.</sub> в Яченское водохранилище

Превышены показатели сброса по биогенным веществам, нефтепродуктам, существенны превышения по железу, а также превышены показатели по меди, цинку, никелю (рис. 2).

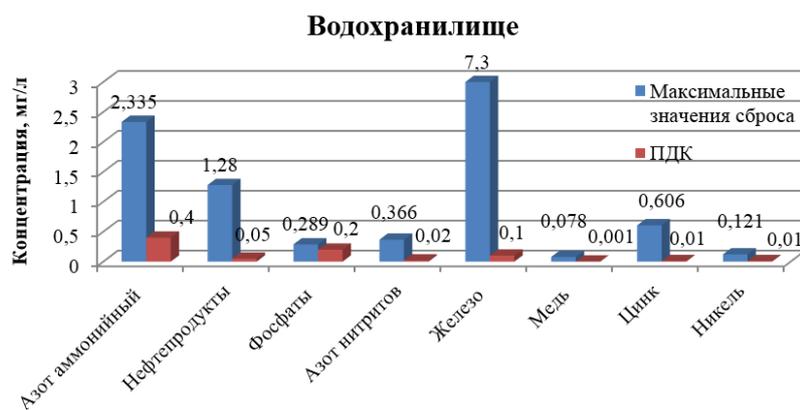


Рис. 2. Показатели сброса нефтепродуктов, биогенных веществ и металлов в сравнении с ПДК<sub>рыб.-хоз.</sub> в Яченское водохранилище

Основным приемником ливнесбросов территории города является р. Ока. Концентрации сброса загрязняющих веществ значительно превышают ПДК<sub>рыб.-хоз.</sub>, о чем свидетельствуют показатели, приведенные на рис. 3 (превышения по взвеси, БПК<sub>5</sub>), и рис. 4 (превышения по нефтепродуктам, биогенным веществам, металлам).

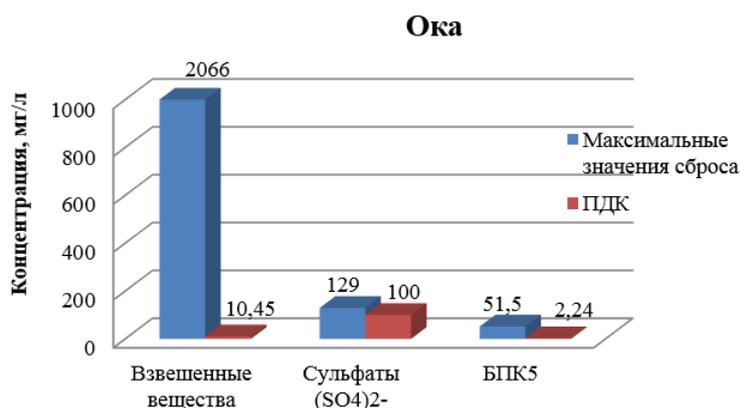


Рис. 3. Показатели сброса ливневых вод по взвешенным веществам, БПК, сульфатам в сравнении с ПДК<sub>рыб.-хоз.</sub> в р. Ока

В верхнем течении реки наблюдается превышение ПДК<sub>рыб.-хоз.</sub> по биогенным веществам. В среднем и нижнем течении превышение ПДК<sub>рыб.-хоз.</sub> по металлам, характерное для промышленных территорий.

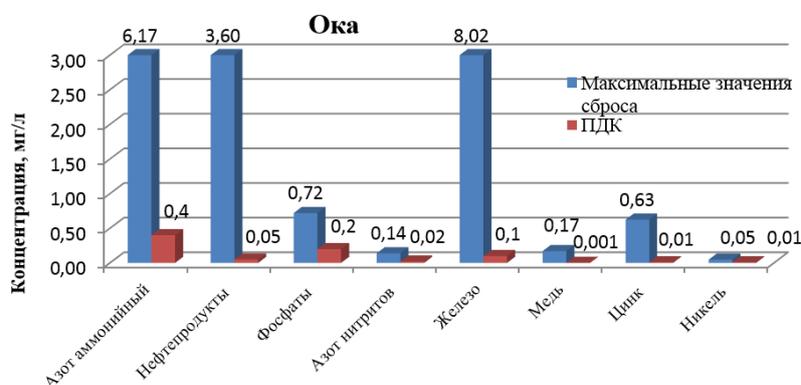


Рис. 4. Показатели сброса нефтепродуктов, биогенных веществ и металлов в сравнении с ПДК<sub>рыб.-хоз.</sub> в р. Ока

Аналитическое исследование показало, что промышленно-ливневые сточные воды города, сбрасываемые в р. Терепец и р. Киевка так же, как и сбросы в р. Ока и Яченское водохранилище, содержат в больших количествах взвешенные вещества, нефтепродукты, богаты биогенными веществами, металлами, превышен показатель БПК<sub>5</sub>.

Значительные концентрации загрязнений, поступающие в водные объекты города с ливневыми сбросами, оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Для предотвращения такого воздействия необходима реализация целого ряда технических и организационных мероприятий, которые приведут к положительным результатам.

Важнейшим решением является проектирование и строительство очистных сооружений промышленно-ливневых сточных вод на территории предприятий и очистных сооружений ливнестоков на территории г. Калуга. Необходимо ужесточение контроля сброса в канализационные сети и водные объекты специфических загрязняющих веществ. Важную роль играет техническое состояние водоотводящих сетей города.

#### Список литературы

[1] Состояние и охрана окружающей среды в Калуге. URL: <http://www.ecoanalyt.ru/upload/pages/75/2016.pdf> (дата обращения 11.03.2017).

[2] *Родионов А.И.* Техника защиты окружающей среды: учебник для вузов / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 2013. – 512 с.

[3] *Хван Т.А. Шинкина М.В.* Экология. Основы рационального природопользования: учеб. пособие для вузов. - 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2011. - 319 с.

[4] *Новоселов А.Л., Новоселова И.Ю.* Модели и методы принятия решений в природопользовании [Электронный ресурс]: учебное пособие. – М.: Юнити-Дана, 2012. – 383 с. Режим доступа: <http://www.knigafund.ru/books/122594>. Дата обращения: 11.03.2017.

**Бакутина Наталья Николаевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [natashamiy@yandex.ru](mailto:natashamiy@yandex.ru)

**Кузнецова Ольга Владимировна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [zkuznetsova.olya2018@yandex.ru](mailto:zkuznetsova.olya2018@yandex.ru)

**Яковлева Ольга Владимировна** – канд. техн. наук, доцент кафедры "Промышленная экология и химия" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [yakowlewaolga24@mail.ru](mailto:yakowlewaolga24@mail.ru)

И.И. Сашенко

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИКИ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ДЛЯ МТЭЛ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Одна из проблем сравнения микробных топливных элементов – это сложность сопоставления данных установок [1]. И если сопоставление электрических параметров (площадь анода, площадь катода и т.д.) не представляет большой сложности, то качественное сопоставление биологической части вызывает затруднение.

Немаловажным фактором является то что при работе не с конкретным штаммом бактерий, а с активным илом подобная унификация усложняется еще сильнее, из-за структуры активного ила. АКТИВНЫЙ ИЛ [англ. «activated sludge», Фаулер (Fowler), 1912 г.; точный перевод – активированный ил], объемистый хлопковый осадок (взвесь) буроватого оттенка, лишенный неприятного запаха, состоящий из массы микроорганизмов, способных к быстрому окислению и нитрификации сточных вод. [2]

При получении активного ила с очистных сооружений помимо хлопкового осадка в пробу попадает большой объем воды. Как следствие было принято решение сравнивать активный ил по процентному содержанию сухой части от массы взболтанной пробы.

Был проведен следующий эксперимент:

1. Было подготовлено и взвешено 9 бюксов;
2. Емкость с активным илом взболтали и разлили по подготовленным бюксам;
3. Бюксы взвесили;
4. Бюксы с активным илом высушили при температуре 110°C до воздушно-сухого состояния [3];
5. Высушенные бюксы с сухим остатком взвесили.

Полученные данные приведены в таблице 1:

Таблица 1. Экспериментальные данные по взвешиванию бюксов

№ пробы	Масса бюкса, грамм	Масса бюкс + проба, грамм	Масса бюкса с высушенным осадком, грамм	Масса сухой и влажной части, грамм	Масса сухой части, грамм	Процентное содержание сухой части, %
1	22,6027	28,1617	22,6483	5,559	0,0456	0,8203
2	26,0618	36,45	26,1502	10,3882	0,0884	0,8510
3	23,2586	34,3474	23,3528	11,0888	0,0942	0,8495
4	26,9292	40,6032	27,0336	13,674	0,1044	0,7635
5	22,1069	30,4654	22,1745	8,3585	0,0676	0,8088
6	26,2147	36,5607	26,3037	10,346	0,089	0,8602
7	15,4198	22,7706	15,4848	7,3508	0,065	0,8843
8	15,6288	23,3673	15,6806	7,7385	0,0518	0,6694
9	14,801	20,1723	14,8424	5,3713	0,0414	0,7708

После взвешивания была проведена статистическая обработка [4] результаты которой представлены в таблице 2:

Таблица 2. Статистическая обработка полученных данных

Случайная погрешность	Доверительная вероятность	Ср. значение	Станд. отклонение	Max	Min
0,1074	0,9961	0,8086	0,0660	0,9161	0,7012

Полученные данные сведены в график представленный на рисунке 1:

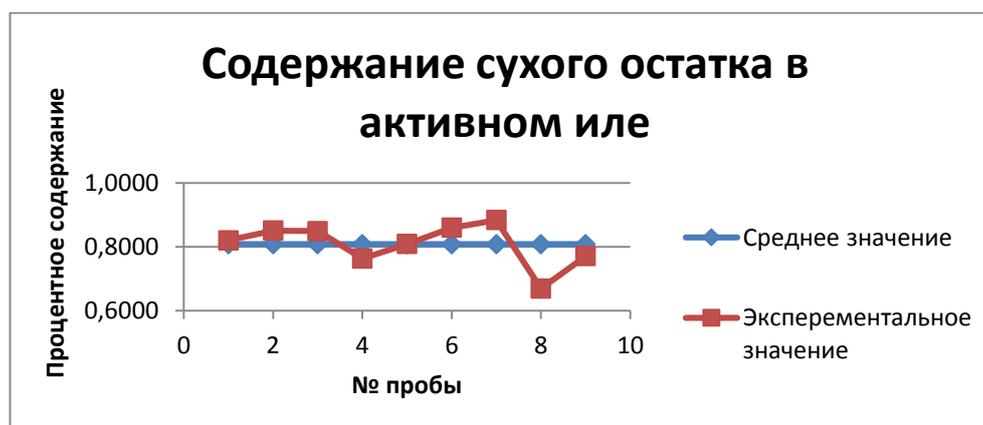


Рис. 1. Содержание сухого остатка в активном иле

Исходя из вышесказанного, можно сделать предположение, что в указанной пробе массой 800 грамм, предназначенной для загрузки в МТЭЛ, содержание иловой массы будет в пределах от 5,609 грамм 7,3288 грамм сухого остатка.

Таким образом в ходе исследований была проведена количественная оценка содержания органики в сточных водах для МТЭЛ. Полученные результаты позволяют судить о значительной вариабельности данного показателя.

### Список литературы

[1] Кусачева С. А., Сащенко И.И. // R вопросу унификации критериев микробных топливных элементов: Сборник статей «Молодой ученый: вызовы и перспективы» ISSN 2415-8771, № 12 (14), 2016, 188-196с.

[2] Электронный ресурс // [https://www.promstok.com/articles/evastock/aktivnyu\\_il\\_biologicheskaya\\_ochistka\\_stochnykh\\_vod/](https://www.promstok.com/articles/evastock/aktivnyu_il_biologicheskaya_ochistka_stochnykh_vod/) // Активный ил. Биологическая очистка сточных вод: дата обращения 28.03.2017.

[3] ГОСТ 18164-72// Метод определения содержания сухого остатка.

[4] Электронный ресурс // [http://www.physchem.msu.ru/assets/prak\\_mech\\_1.pdf](http://www.physchem.msu.ru/assets/prak_mech_1.pdf) // Статистическая обработка измерений. Дата обращения 14.03.2017.

**Сащенко Игорь Игоревич** - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: i709@ya.ru

А.В. Олейник, С.Н. Никулина

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ОТ ВЗРЫВОВ НА ОРБИТЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Происхождение обломков от ракет-носителей связано не только с издержками космических запусков, но и с сознательной разрушительной деятельностью. В 60-х годах прошлого века, когда космос очень серьезно рассматривался как «поле грядущих битв», проводились эксперименты, в ходе которых один спутник направлялся на другой с целью уничтожения аппарата. Такими опытами занимались как американские, так советские исследователи. Все эти краш-тесты проходили на небольших высотах, и обломки от них большей частью уже давно сгорели в атмосфере.

Энергетика взрывов различна, и от нее зависит количество возникающих обломков и их скорость. Пример высокоэнергетического взрыва – взрыв мощностью 10 кВт 1 мая 1991 г. спутника «Nimbus-6», находившегося на орбите 16 лет. Этот взрыв породил 400 обломков с перигеем орбиты ниже 800 км и апогеем выше 4000 км. Теперь 80% всех искусственных объектов в окрестностях Земли проходит через это растекающееся облако космического мусора[1].

Основной вклад в отходно- космические мероприятия вносятся спутниками ракет-носителей «Протон-М», падение которых участилось в последнее время. Рассмотрим статистику удачных и неудачных запусков Роскосмоса на отрезке времени с 1960 года по 2013 года:

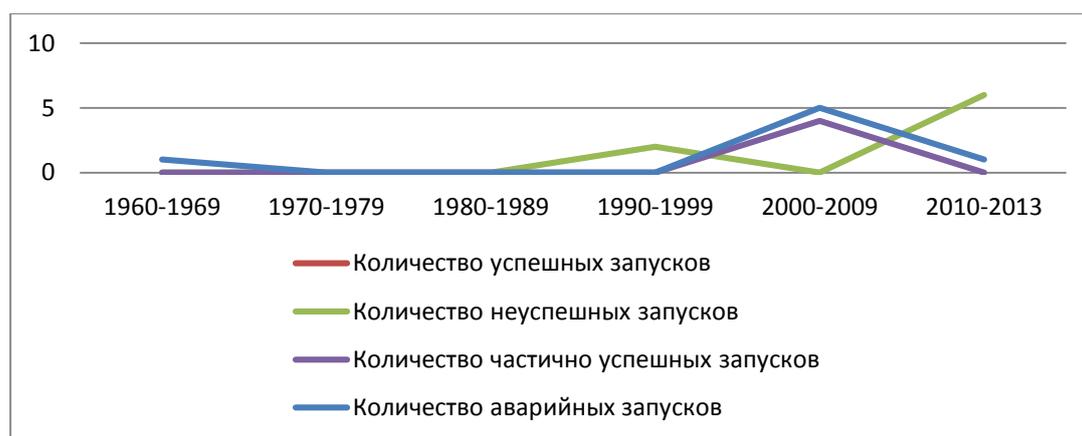


Рис. 1. Статистика удачных и неудачных запусков Роскосмоса на отрезке времени с 1960 года по 2013 года

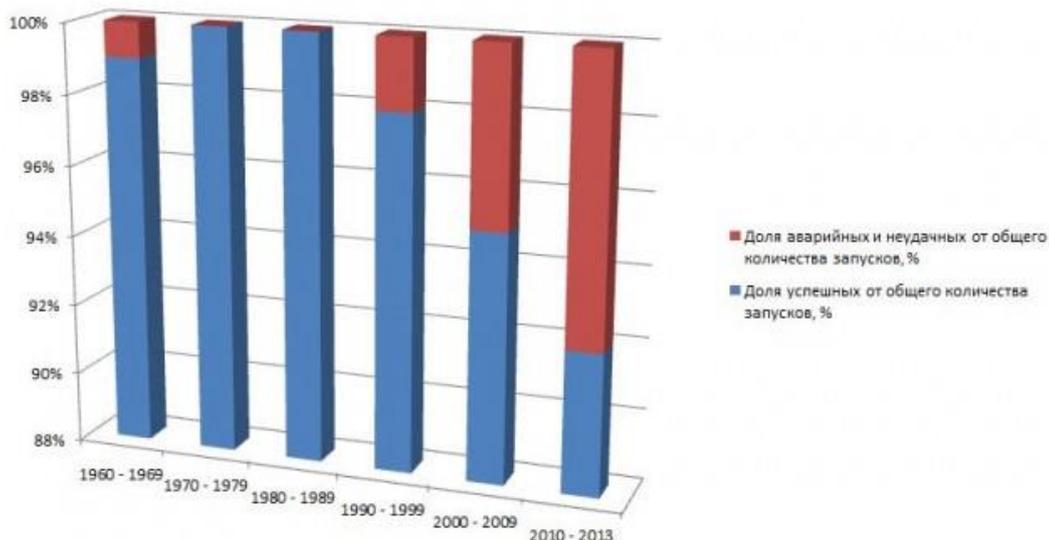


Рис. 2. Статистика удачных и аварийных попыток запуска ракеты-носителя «Протон-М»

Дальнейшее развитие ракеты «Протон» получили в рамках советской (в том числе и планируемой пилотируемой) лунной программы. С тех пор статистика пусков для «Протонов» стала различать нештатные ситуации, связанные с ракетой, и неполадки, связанные с разгонным блоком (в дальнейшем их не разделяем). Последний запуск ракеты-носителя «Протон-К» состоялся 30 марта 2012 года, а всего было произведено 310 пусков этой ракеты-носителя. Ракета вывела все тяжелые орбитальные модули и станции «Салют», «Алмаз», «Мир», первые российские модули Международной космической станции (МКС) «Заря» и «Звезда», а с 8 апреля 1996 года началась коммерческая эксплуатация «Протонов» компанией International Launch Services (ILS) – контрольный пакет которой в настоящее время принадлежит производителю ракет (Центру Хруничева) – для запуска иностранных космических аппаратов. Из всех пусков ракеты «Протон-К» были полностью успешными 277 (89 %), а если не учитывать неполадок с разгонными блоками, то 91 % пусков «Протон К» можно считать успешными[2].

В таблице 1 представлены данные статистики удачных и неудачных запусков

Таблица 1. Статистика запуском России и США с 2006–2010 гг

	Россия				США			
	2006	2008	2009	2010	2006	2008	2009	2010
Удачные запуски	25	27	32	30	18	15	24	16
Неудачные запуски	2	1	-	1	1	1	1	-

В 1992 году впервые в стране был создан проект стандартных исходных данных для обеспечения работ по созданию космических орбитальных средств. В этой связи следует отметить, что и в настоящее время только две страны - Россия и США имеют возможность и отслеживают все околоземное космическое пространство в плане техногенного засорения с опорой на свои национальные системы контроля космического пространства[3].

Из-за участвовавших случаев падения ракет-носителей были зафиксированы случаи, когда фрагменты космического мусора, не сгоревшие при входе в атмосферу, при падении ранили людей. Например, обломок второй ступени ракеты-носителя Delta повредил женщине плечо. Поэтому в космосе и на Земле теперь как на войне: и люди, и спутники находятся под постоянным обстрелом мусора, и один неверный расчет, уклон от осколка не в ту сторону может привести к катастрофическим последствиям. За последние 30 лет найти способ безопасного удаления космического мусора с орбиты так и не удалось. Однако главное, что поняли специалисты космической отрасли, это то, что процесс засорения космоса имеет глобальный характер и отсидеться в стороне не удастся никому.

#### **Список литературы**

[1] *Садонин Н.Е., Сушкевич Н.В., Шагапов А.А.* Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – М., 2014. – № 10. – С.70-72.

[2] *Лескова Н.С.* Необходима космическая экология // Наука и религия. – 2012. – № 4. – С. 24–25.

[3] *Гаврилов В.* Космический мусор: Обломки недавнего прошлого. [Электронный ресурс]. – Заглавие с экрана. Режим доступа: <http://www.popmech.ru/article/479-kosmicheskiy-musor>.

**Олейник Анастасия Вадимовна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [fnk.oleynik1996@yandex.ru](mailto:fnk.oleynik1996@yandex.ru)

**Никулина Светлана Николаевна** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [voinsveta579@mail.ru](mailto:voinsveta579@mail.ru)

А.В. Олейник, Я.В. Непогодина, Н.А. Силаева,  
А.Ю. Логинова

## **НОРМИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ Г. КАЛУГИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Азот и фосфор как биогенные элементы постоянно присутствуют в водоемах в виде различных соединений, образующихся при разложении органического вещества. Ухудшение качества поверхностных вод вследствие сброса в водоемы недостаточно очищенных сточных вод -серьезная экологическая проблема. Состав формируемых сточных вод на урбанизированных территориях зависит от района строительства, качества питьевой воды, количества воды, потребляемой населением, загрязненности стоков, которые поступают от промышленных объектов, притока грунтовых и дождевых вод в сеть водоотведения. В составе сточной воды присутствуют как неорганические, так и органические азотсодержащие соединения, которые вместе с фосфатами являются основными источниками эвтрофирования природных водоемов.

Целью работы является анализ и оценка содержания азотсодержащих веществ в сточных и природных поверхностных водах г.Калуги нормативным требованиям, выявление причин их несоответствия и поиск путей улучшения экологической ситуации. В данной работе рассматривается только часть проблемы, относящаяся к нормированию и содержанию азотсодержащих веществ в сточных и природных водных объектах на территориях г. Калуги. Существующая система предельно допустимых сбросов ПДС и ПДК является единственным способом воздействия со стороны экологического и санитарно-гигиенического контроля. Государственное значение данной проблемы определяется обязательным ограничением содержания аммония, нитрит- и нитрат-ионов в системе ПДС веществ с возвратными водами в водные объекты и в системе ПДК в природных водах.

На урбанизированной территории г. Калуги в составе хозяйственно-бытовых сточных вод основное количество азота находится в форме его восстановленных соединений, таких как аммиак, мочевины, аминокислоты и белки. В хозяйственно-бытовых сточных водах аммиак образуется уже в канализационных трубах в результате биоразложения мочевины, катализируемого ферментами уреазы[4].

Информационная база данных по содержанию азотсодержащих соединений в сточных и природных поверхностных водах г.Калуги составлено на основе систематизации, обобщения и анализа материалов отчетов ГП «Калугаоблводоканал» за период с 2009 по 2016 год. На рис. 1, 2, 3 пред-

ставлены графики изменения концентрации азотсодержащих соединений в сточных водах по ОС канализации г. Калуги, поступающих в р.Оку.

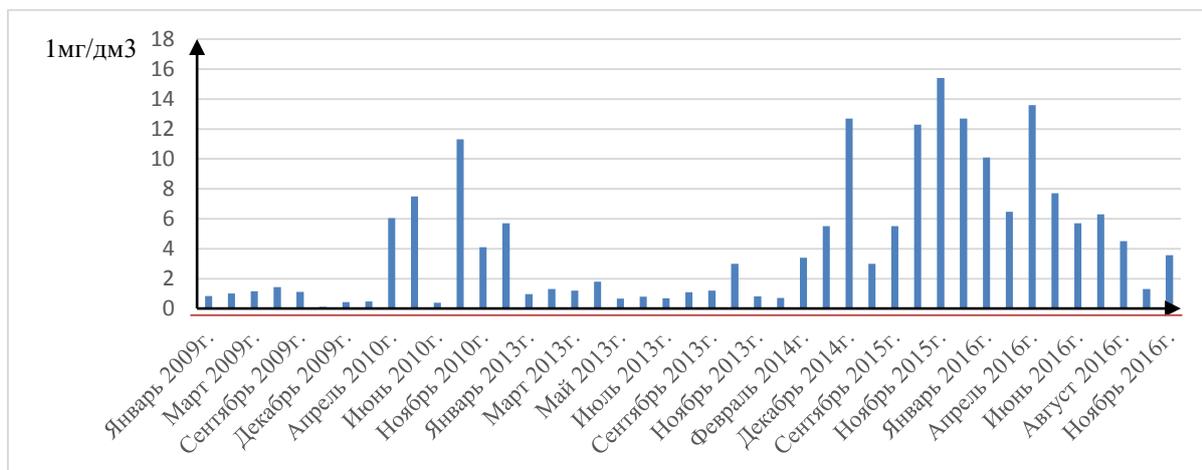


Рис. 1. График изменения концентрации аммонийного иона (NH<sub>4</sub>) в сточных водах

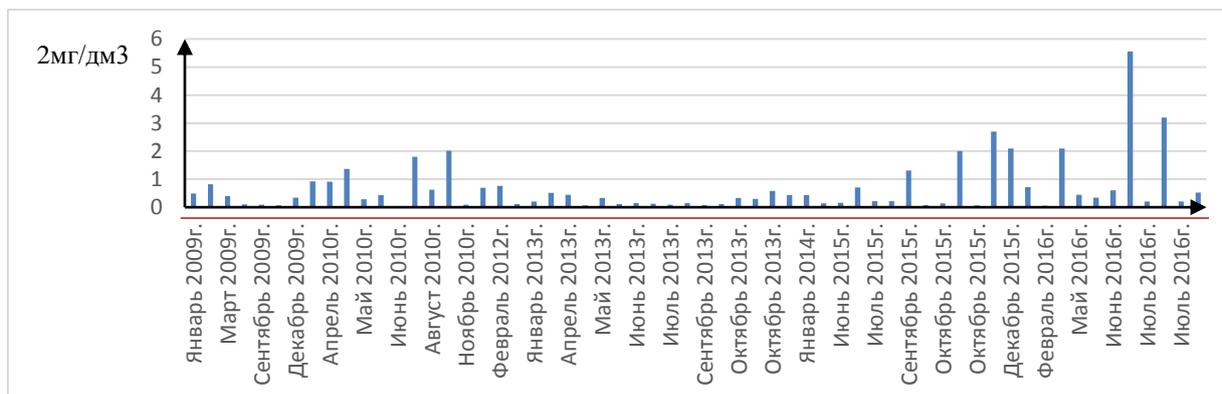


Рис. 2. График изменения концентрации нитрит-ионов (NO<sub>2</sub>) в сточных водах

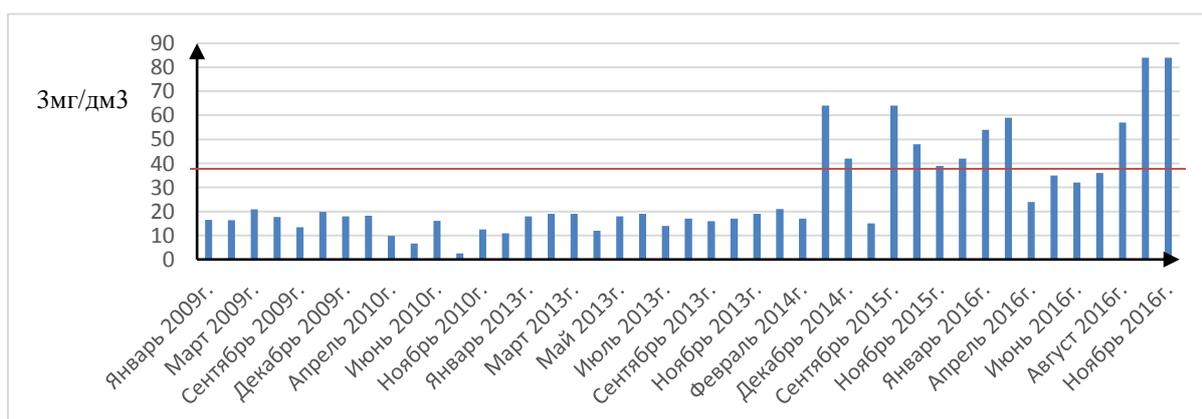


Рис. 3. График изменения концентрации нитрат-ионов (NO<sub>3</sub>) в сточных водах

Вопросы, касающиеся анализа азота в сточных водах, ранее были рассмотрены в действующем нормативном документе: «Правила холодного водоснабжения и водоотведения», утвержденном постановлением №644 от 29 июля 2013 г. Правительства РФ. В данном постановлении нормируется

содержание азота в сточных водах, допущенных к сбросу в централизованную систему водоотведения. Значение показателя по РФ не должно превышать 50 мг/дм<sup>3</sup> по всем азотсодержащим соединениям. В хозяйственно-бытовых сточных водах содержание всех форм азота составляет: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>–0,4 мг/дм<sup>3</sup>; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> –0,02 мг/дм<sup>3</sup>; NO<sub>3</sub>–9 мг/дм<sup>3</sup>, при этом доля органического азота составляет 70-85%, а остальное приходится, главным образом, на аммонийный азот. ПДК для азотсодержащих соединений в сточных водах, сбрасываемых в р. Оку с очистных сооружений, составляет: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>–0,5 мг/дм<sup>3</sup>; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> –0,07 мг/дм<sup>3</sup>; NO<sub>3</sub>–40 мг/дм<sup>3</sup>[1].

Анализ представленных графиков показывает, что, начиная с 2009 года превышение концентрации аммонийного иона из 43 проб составляет 91%; нитрит-иона из 60 проб составляет 77%; нитрат-иона из 43 проб составляет 23%. В настоящее время около 2/3 населения Калуги снабжается окской водой. В течение 30 лет (до 1955 г.) происходило увеличение процессов загрязнения, но благодаря естественным процессам самоочищения река оставалась практически чистой. Сегодня р. Ока уже не справляется с постоянно поступающими загрязняющими веществами, в том числе и азотсодержащими соединениями[4].

На рис. 4, 5, 6 представлены графики изменения концентрации азотсодержащих соединений в р.Оке на территории г.Калуги (в створе ниже выпуска ~ 500 м). Из анализа представленных ниже графиков выяснили, что, начиная с 2009 года превышение концентрации аммонийного иона из 43 проб составляет 30%; нитрит-иона из 60 проб составляет 93%; нитрат-иона из 43 проб составляет около 5%. Исходя из полученных данных отметили, что основными источниками загрязнения поверхностных водных объектов продолжают оставаться предприятия жилищно-коммунального хозяйства, у которых объемы сбросов сточных вод наибольшие, а категория качества воды – недостаточно-очищенные. В таблице 1 приведена структура сброса сточных вод в водные объекты Калужской области за 2010-2015 годы.

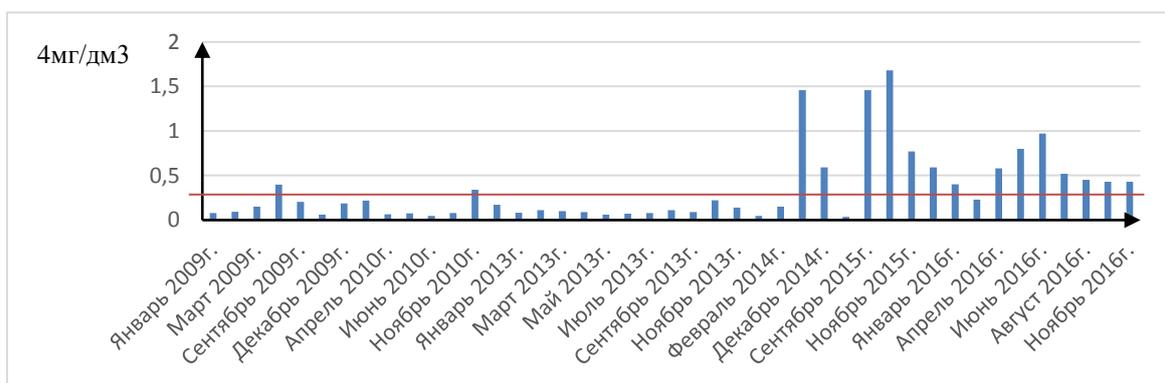


Рис. 4. График изменения концентрации аммонийного иона (NH<sub>4</sub>) в природных водах

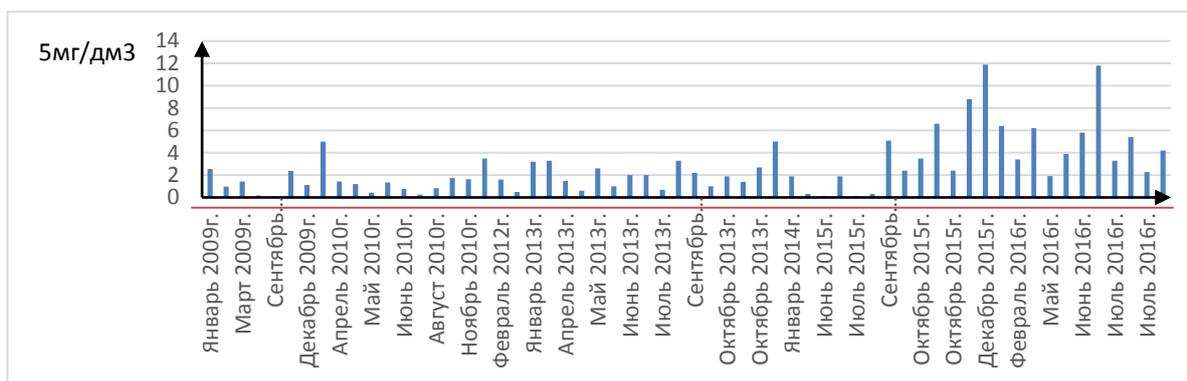


Рис. 5. График изменения концентрации нитрит-ионов (NO<sub>2</sub>) в природных водах

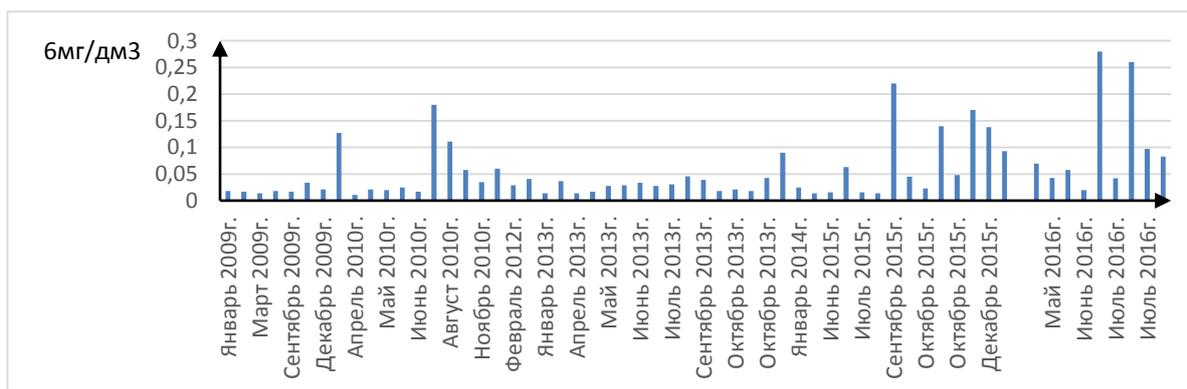


Рис. 6. График изменения концентрации нитрат-ионов (NO<sub>3</sub>) в природных водах

Анализ таблицы показывает, что количество загрязненных, в том числе, без очистки и недостаточно очищенных сточных вод составляет более 95% [2]. Очистные сооружения г. Калуги перегружены и работают неэффективно. Традиционные биотехнологии неэффективны при наличии в сточных водах большого количества биогенных элементов. Наиболее эффективным возможно является введение дополнительной стадии окисления азотсодержащих соединений после биологической очистки на очистных сооружениях.

Таблица 1. Структура сброса сточных вод в водные объекты за 2010-2015 годы

Показатели сброса сточных вод	2010		2012		2014		2015	
	Объем сброса, млн. м <sup>3</sup>	От общего объема, %	Объем сброса, млн. м <sup>3</sup>	От общего объема, %	Объем сброса, млн. м <sup>3</sup>	От общего объема, %	Объем сброса, млн. м <sup>3</sup>	От общего объема, %
Сброшено сточных вод всего	97,15	100	91,88	100	92,65	100	91,0	100
Без очистки	2,500	2,60	6,813	7,42	6,47	6,99	6,28	6,9
Недостаточно очищенных	87,92	90,5	77,04	83,87	83,07	89,6	80,1	88

На основе большого массива данных многолетнего мониторинга выявлены достоверные закономерности увеличения концентрации азотсодержащих соединений в сточных и природных водах соответственно. Не совершенствование системы нормирования и контроля антропогенного воздействия загрязняющих веществ и отсутствие федеральных и региональных программ поэтапного снижения поступления биогенных элементов (в частности, азотсодержащих соединений) в природные водные объекты является основной причиной ухудшения их гидроэкологического состояния[3]. Действующие на сегодняшний день в РФ стандарты и гигиенические нормативы на питьевую воду не учитывают возможность наличия в воде токсинов цианобактерий. В условиях эвтрофирования природных поверхностных вод использование их в качестве источника питьевого водоснабжения следует считать экологическим риском.

### Список литературы

[1] Нормативы водоотведения (сброса) по составу сточных вод, поступающих в систему канализации города Калуги. URL: <http://www.kaluga.gov.ru/> (дата обращения 16.03.2017).

[2] Правительство Калужской области за 2015 год. URL: <http://admoblkaluga.ru/sub/ecology/OOC/> (дата обращения 20.03.2017).

[3] *Логинова А. Ю., Силаева Н. А.* Роль активных форм кислорода в процессах самоочищения природных водных экосистем. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, 2015, №4-1, с. 46-51.

[4] *Логинова А. Ю., Силаева Н. А., Петросян О. П.* Анализ содержания фосфатов в сточных и поверхностных водах на урбанизированных территориях Калужской области. Водоснабжение и канализация, 2016, №11-12, с 28-30.

**Олейник Анастасия Вадимовна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [fnk.oleynik1996@yandex.ru](mailto:fnk.oleynik1996@yandex.ru)

**Непогодина Яна Вячеславовна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [dragonflynepogodina@gmail.com](mailto:dragonflynepogodina@gmail.com)

**Силаева Наталья Альбертовна** – старший преподаватель, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [silaeva1968@list.ru](mailto:silaeva1968@list.ru)

**Логинова Алла Юрьевна** – канд. хим. наук, доцент кафедры "Промышленная экология и химия". E-mail: [kf\\_mgtu\\_fiz@mail.ru](mailto:kf_mgtu_fiz@mail.ru)

Е.О. Карева, М.И. Морозенко

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ГЕНЕРАТОРА ПЛАЗМЫ В СИСТЕМЕ ПЛАЗМЕННОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ТКО

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время, в связи с ухудшением общей экологической обстановки и ожидаемым, в ближайшем будущем, дефицитом ископаемого топлива, требуются новые подходы к созданию условий для использования нетрадиционных видов топлива, которые, помимо высокой потенциальной энергоэффективности, должны быть также экономически и экологически приемлемыми – максимально безопасными для окружающей среды. Одним из путей решения проблемы считается использование твердых коммунальных отходов (ТКО) в качестве источников вторичного сырья, позволяющего достичь повышения эффективности производства за счет экономии материалов, обеспечить расширение сырьевой базы для разных отраслей промышленности, а также существенного улучшения экологического статуса территорий за счет снижения техногенного загрязнения окружающей среды [1, 2].

Выбор технологии плазменной газификации обоснован ее уникальностью, в качестве варианта химико-термической обработки отходов, благодаря интенсификации плазмохимических превращений и высокой концентрации энергии в единице объема [1]. Благодаря современным разработкам в настоящее время получение синтез-газа можно осуществлять за счет газификации ТКО и промышленных отходов в процессе их утилизации.

Характеристика основных реакций, протекающих при газификации твердых отходов, представлена в таблице 1 [3].

Таблица 1. Характеристика основных реакций, протекающих при газификации твердого топлива

№ реакции	Уравнение реакции	$\Delta H_{298}$ , кДж	Константа равновесия при температуре, °С	
			800	1300
1	$C + O_2 = CO_2$	-394,9	$1,8 \cdot 10^{17}$	$1,5 \cdot 10^{13}$
2	$2C + O_2 = 2CO$	-219,1	$1,4 \cdot 10^{18}$	$4,5 \cdot 10^{16}$
3	$C + H_2O = CO + H_2$	+132,8	7,97	$9,98 \cdot 10^2$
4	$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$	+89,7	8,31	$3,32 \cdot 10^2$
5	$C + CO_2 = 2CO$	+175,8	7,65	$3 \cdot 10^3$
6	$C + 2H_2 = CH_4$	-87,4	$4,72 \cdot 10^{-2}$	$1,82 \cdot 10^{-3}$
7	$2CO + O_2 = 2H_2O$	-570,7	$2,4 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^9$
8	$2H_2 + O_2 = 2H_2O$	-484,6	$2,2 \cdot 10^{16}$	$4,5 \cdot 10^{10}$
9	$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$	-803,5	$9 \cdot 10^{31}$	$4 \cdot 10^{26}$
10	$CO + H_2O = CO_2 + H_2$	-43,0	1,04	0,333
11	$CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O$	-208,7	$5,92 \cdot 10^{-3}$	$1,82 \cdot 10^{-6}$
12	$2CO + 2H_2 = CH_4 + CO_2$	-247,2	$6,17 \cdot 10^{-3}$	$6,05 \cdot 10^{-7}$

Для практических расчетов с достаточной точностью можно ограничиться лишь процессами (5), (6) и (10) [4]. Поскольку равновесие всех реакций, протекающих с участием кислорода, практически полностью смещено вправо, то в равновесной газовой смеси его не может быть. Остальные реакции – это линейные комбинации уравнений (5), (6) и (10).

Прежде чем остановить выбор на каком-либо конкретном генераторе плазмы для исследуемой установки плазменной газификации, необходимо определиться со спектром веществ, процесс газификации которых планируется исследовать, и задаться некоторой условной ее производительностью. Состав и свойства веществ, поступающих на переработку, также необходимо знать для проведения расчетных оценок процесса плазменной газификации.

Рассмотрим наиболее характерные виды отходов, которые могут быть подвергнуты процессу плазменной газификации [5, 6]. С энергетической и экономической точек зрения наиболее подходящими являются отходы с большим содержанием органики. Это прежде всего отходы лесопромышленного комплекса, деревообрабатывающей и бумажной промышленности; некоторые виды сельскохозяйственных отходов; отслужившие автомобильные покрышки; ТКО. Элементный состав каждого типа отходов, принятый для расчетов, приведен в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав и свойства типов отходов, принятых для расчетов

Химический элемент	Единица измерения	Содержание в отходах		
		Древесина	Отходы шин	RDF
C	% масс.	49-51	78,6	40,7
H		5-6	6,73	7,75
O		40-44	–	38,6
N		–	0,20	0,28
S		–	1,51	0,53
Cl		–	0,21	0,53
Fe	г/кг	–	100	–
Co	Мг/кг	–	200	–
Cr		–	100	–
Mg		–	100	–
Cu		–	15	–
Mo		–	10	–
Ni		–	10	–
As		–	5	–
Зольный остаток	% масс.	–	13	11,8
Теплота сгорания	МДж/кг	16-19	34,54	17,9

Чтобы исключить дополнительные энергетические затраты на осуществление процесса газификации, необходимо предварительно отходы подвергать определенной подготовке – сушке и гранулированию. Из ТКО необходимо извлечь неорганическую компоненту (стекло и металл).

Среди всего многообразия органических твердых отходов можно выделить три основных типа: древесина, резина и смешанные бытовые. Рассмотренные отходы с достаточной степенью точности перекрывают весь спектр твердых отходов, имеющих возможность переработки методом газификации. Данные в таблице 2 приведены для сухих веществ. Что касается состава смешанных отходов, то для дальнейших расчетов для них принят известный состав RDF (Refused Derived Fuel) – топлива, произведенного из отходов. Это те же ТКО, но прошедшие стадию предварительной обработки. Из них по максимуму извлечены все минеральные компоненты и влага и они гранулированы.

Для исследования выбраны значения производительности: 50 кг/ч и 30 кг/ч. Процесс может быть масштабирован. Результаты расчетов с использованием данных авторов [7-9] представлены в таблице 3.

Таблица 3. Сравнительная оценка потенциально допустимых показателей процесса газификации

Показатели		Вид перерабатываемых отходов		
		Дерево	Отходы шин	RDF
Плазмообразующая среда		Воздух	Воздух	Воздух
Вторичное дутье		—	Водяной пар	—
Расход, кг/ч:	отходов	50,0	30,0	50,0
	плазмообразующего газа	72,0	86,4	75,6
	вторичного дутья	—	40,0	—
Температура плазмы, °С		1940	1770	1880
Расчетная тепловая мощность плазмотрона, кВт		45,0	49,9	47,7
Температура синтез-газа на выходе из реактора, °С		1215	1203	1215
Выход синтез-газа:	часовой, м <sup>3</sup> /ч	123,8	151,0	123,2
	удельный, м <sup>3</sup> /кг	2,48	5,03	2,46
Состав синтез-газа, % (об.):	H <sub>2</sub>	24,5	30,6	26,3
	CO	31,4	24,0	27,5
	CO <sub>2</sub>	3,5	5,2	3,2
	H <sub>2</sub> O	4,9	4,9	4,9
	N <sub>2</sub>	35,7	35,1	37,8
Теплота сгорания синтез-газа, МДж/м <sup>3</sup>		6,16	5,89	5,88

Наиболее близок к расчетным параметрам высоковольтный трехфазный электродуговой генератор плазмы или плазмотрон переменного тока со стержневыми электродами, работающий на воздухе [10].

Основные преимущества плазмотронов переменного тока перед плазмотронами постоянного заключаются в следующем [11, 12]:

- более высокий коэффициент преобразования энергии электродугового разряда в энергию газа;
- каждая модель обладает широким диапазоном рабочих расходов и энтальпий плазмы и с легкостью может быть вписана в любой технологический процесс;
- возможность работы на любых смесях газов;
- дешевизна и простота систем питания, комплектующихся из стандартного электротехнического оборудования;
- длительный ресурс непрерывной работы (100-200 часов);
- простота и дешевизна в эксплуатации.

На основании проведенного исследования по выбору генератора плазмы в системе плазменной газификации ТКО показано, что предлагаемые конструкции сменных электродов достаточно просты и дешевы, а процесс их замены, осуществляемый квалифицированным персоналом, не требует остановки технологического процесса.

### Список литературы

[1] *Морозенко М.И., Черняев С.И., Попова Е.В., Морозенко Д.Н., Карева Е.О.* Исследование характеристик генераторного газа при пароплазменной газификации ТБО // *Успехи современного естествознания*. – 2016. – № 5 (1). – с. 141-147

[2] *Морозенко М.И., Кусачева С.А., Черняев С.И.* Оценка технико-экономических показателей технологии пароплазменной газификации твердых коммунальных отходов, а также отходов производства и потребления // *Современные наукоемкие технологии*. – 2016, – №6. – с. 60-64

[3] *Гурвич Л.В.* Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Справочное издание: в 4-х т. / *Л.В. Гурвич, И.В. Вейц, В.А. Медведев и др.* – 3-е изд., перераб. и расширен. – Т. 4. Кн. 1. – М.: Наука, 1982. – 623 с.

[4] *Печуро Н.С.* Химия и технология синтетического жидкого топлива и газа: учебное пособие / *Н.С. Печуро, В.Д. Капкин, О.Ю. Песин*. – М.: Химия, 1986. – 352 с.

[5] *Plasco Conversion Technologies* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.plascotechnologies.com> (дата обращения 24.02.17)

[6] *High temperature recycling. High temperature gasification and direct fusion of waste goods* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.viveracorp.com> (дата обращения 11.03.17)

[7] *Bratsev A.N, Rutberg Ph.G., Ufimtsev A.A.* Plasmochemical Technologies for Processing of Hydrocarbonic Raw Material with Syngas Production // *Journal of High Temperature Material Processes*. – 2004. – v.8, №3. – p. 433-445.

[8] *Братцев А.Н., Попов В.Е., Рутберг А.Ф., Штенгель С.В.* Установка для плазменной газификации различных видов отходов // Теплофизика высоких температур. – 2006. – т. 44, №6. – с. 832-837.

[9] *Bratsev A.N, Popov V.E., Shtengel S.V, Rutberg A.Ph.* Some aspects of development and creation of plasma technology for solid waste gasification // High Temperature Material Processes. – 2006. – v.10, №4. – p. 549-556.

[10] *Ph.G. Rutberg, A.A. Safronov, S.D. Popov et al.* Multiphase Stationary Plasma Generators Working on Oxidizing Media // Plasma Physics and Controlled Fusion. – 2005. – v.47, №10. – p. 1681-1696.

[11] *Rutberg Ph.G.* Plasma Pyrolysis of Toxic Waste // Plasma Physics and Controlled Fusion. – 2003. – v.45, №4. – p. 957-969.

[12] *Попов В.Е.* Исследование, разработка и создание систем плазменной газификации твердых органических отходов на основе мощных электродуговых генераторах плазмы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Санкт-Петербург, 2007. – 113 с.

**Карева Евгения Олеговна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: kareva.zhenya1994@gmail.com

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

Н.П. Маркелова, С.И. Черняев

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ УКЛАДКИ ФИЛЬТРОВАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА СОПРОТИВЛЕНИЕ КОМПАКТНОГО ФИЛЬТРА**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Многие отрасли промышленности – микроэлектронная, радиоэлектронная, приборостроительная, фармацевтическая, химическая и биохимическая, энергетическая, космическая, медицинская, микробиологическая, пищевая и др., производственные процессы которых сопровождаются образованием аэрозолей в виде пыли, возгонов, газов и других веществ, остро нуждаются в получении чистого технологического воздуха и, следовательно, в обеспечении высокоэффективной очистки технологических газов и воздуха от содержащихся в них во взвешенном состоянии микрочастиц и газообразных веществ различной природы. Необходимость обеспечения высокоэффективной защиты производственного персонала, технологических процессов и продукции от загрязнений требует создания специфической защитной среды, называемой «чистыми помещениями», что, в свою очередь, требует применения инженерных средств высокоэффективной фильтрации воздуха.

Цель исследования – изучение параметров влияния геометрии укладки фильтровального материала, оказывающих влияние на сопротивление компактного фильтра.

Для определения влияния геометрии укладки фильтровального материала на сопротивление компактного фильтра было проведено испытание экспериментальных фильтров с различными углами установки фильтровальных элементов. Фильтры изготавливались из бумаги марки HD 2293 класса H11.

Из бумаги изготавливались образцы фильтровальных элементов. Их изготовление производилось на гофрировальной машине фирмы TAG (Германия).

Параметры бумаги: высота – 25 мм, количество гофр на 100 мм – 35.

На ленточной пиле вырезались заготовки размером 285x285 мм.

Эти заготовки вставлялись в рамки из оцинкованной стали. Готовые фильтровальные элементы устанавливались в разборный корпус фильтра размером 305x305x300 мм. Конструкция корпуса позволяла устанавливать фильтровальные элементы под различными углами. Величина углов контролировалась заранее изготовленными шаблонами. Фильтровальные элементы устанавливались под углами  $18^{\circ}20'$ ,  $15^{\circ}20'$ ,  $12^{\circ}20'$ ,  $9^{\circ}20'$ .

На стенд для испытания компактных фильтров на сопротивление воздушному потоку воздух проходит двухступенчатую очистку (через фильтр грубой и тонкой очистки), затем – в систему измерения расхода воздуха,

которое осуществляется методом замера перепада давления в сужающем устройстве (сопло Вентури). Затем воздух подается на вентилятор, снабженный частотным регулятором оборотов и затем через смесительную камеру и воздухораспределительную решетку - в статическую камеру. Из статической камеры воздух подается на испытуемый фильтр. Статическая камера необходима для обеспечения равномерности потока воздуха, протекающего через испытуемый фильтр. Перепад давления на фильтре измеряется дифференциальным манометром.

Фильтр устанавливался в стенд с учетом направления потока воздуха. Изменяя расход воздуха, подаваемый на фильтр, производили замер перепада давления на фильтре.

Использованный стенд позволяет проводить испытания при расходе воздуха от 100 до 1500 м<sup>3</sup>/час. Система позволяет обеспечить точность поддержания расхода воздуха  $\pm 2\%$ .

Измерение расхода воздуха выполняли стандартным методом – измерением перепада давления с использованием сопла Вентури по ЕН ИСО 5167-1.

Полученные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1. Данные замеров перепада давления при различных углах укладки фильтровальных элементов в компактном фильтре

Угол раскрытия фильтровальных элементов 9°20'		Угол раскрытия фильтровальных элементов 12°20'		Угол раскрытия фильтровальных элементов 15°20'		Угол раскрытия фильтровальных элементов 18°20'	
Q, м <sup>3</sup> /ч	ΔP, Па	Q, м <sup>3</sup> /ч	ΔP, Па	Q, м <sup>3</sup> /ч	ΔP, Па	Q, м <sup>3</sup> /ч	ΔP, Па
97	22	103	25	103	17	101	15
123	37	123	36	120	30	120	23
139	48	141	48	140	44	142	35
162	62	162	60	159	56	159	47
181	73	179	70	182	69	182	63
200	83	200	81	199	79	204	76
220	95	222	92	221	92	220	85
241	107	240	104	239	101	240	98
260	117	261	117	259	113	259	108
280	129	281	127	280	125	281	120
303	143	300	138	302	138	304	133
321	154	321	150	321	149	320	142
342	165	340	161	340	161	341	154
360	175	361	174	360	171	360	165
380	187	381	186	379	182	380	177
402	199	403	198	402	195	400	188
420	212	424	210	421	205	420	197
440	223	443	220	440	217	440	207

Также проводилось определение зависимости сопротивления фильтровального материала, из которого изготавливался экспериментальный фильтр, от скорости воздушного потока.

Для проведения измерений образец фильтровального материала помещался в держатель и зажимался с помощью пневмоцилиндра. С помощью регулятора расхода воздуха выставляли требуемый расход воздуха. При этом дифференциальным манометром определяли сопротивление потоку воздуха. Данные измерения приведены в таблице 3.

Таблица 2. Данные испытания фильтровального материала на зависимость сопротивления от скорости воздушного потока

Q, л/мин	v, см/сек	$\Delta P$ , Па			$\Delta P_{cp}$ , Па
6	1	51	52	52	51,7
9	1,5	73	75	75	74,3
12	2	93	95	96	94,7
15	2,5	110	111	111	110,7
18	3	130	131	131	130,7
21	3,5	150	151	151	150,7
24	4	171	172	174	172,3
27	4,5	192	193	193	192,7
30	5	208	210	210	209,3
33	5,5	228	229	230	229
36	6	249	250	250	249,7

Результаты показывают, что с увеличением угла раскрытия фильтровальных элементов сопротивление падает в пределах от  $9^{\circ}20'$  до  $15^{\circ}20'$ . Зависимость от угла раскрытия слабая. Значительное падение сопротивления наблюдается при угле раскрытия фильтровальных элементов  $18^{\circ}20'$ .

Характер зависимости меняется от линейного к нелинейному для больших производительностей. Для расхода воздуха  $400 \text{ м}^3/\text{ч}$  сопротивление снижается на 5, 5% при изменении угла раскрытия от  $9^{\circ}20'$  до  $18^{\circ}20'$ . Для расхода воздуха в  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$  – на 5,8%, для  $600 \text{ м}^3/\text{ч}$  – на 6,6%.

### Список литературы

- [1] *Басманов П.И., Кириченко В.Н., Филатов Ю.Н., Юров Ю.Л.* Высокоэффективная очистка газов от аэрозолей фильтрами Петрянова. М.: 2002. – 193 с.
- [2] *Гайдуков А.Д., Власенко В.И.* Чистые помещения и технологические среды (2012), № 1 (41), 11-13 с.
- [3] *Маркелова Н.П., Кадомцев Г.М., Черняев С.И.* Анализ технологии высокоэффективной фильтрации воздуха и ключевых особенностей ее обеспечения // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 3-2. 263-267 с.

[4] *Маркелова Н.П., Кадомцев Г.М., Черняев С.И.* Некоторые особенности контроля высокоэффективных воздушных фильтров // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 11. – 156-161 с.

[5] *Уайт В.* Технология чистых помещений. Основы проектирования, испытаний и эксплуатации. – М.: Изд-во «Клинтрум», 2008. – 304 с.

**Маркелова Надежда Петровна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nad.marckelowa2018@yandex.ru

**Черняев Сергей Иванович** – д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ambler@list.ru

Е.В. Попова, М.И. Морозенко

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТОРА ПЛАЗМЕННОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Среди экологических проблем, которые существуют в настоящее время, важное место занимает обезвреживание и уничтожение твердых коммунальных отходов (ТКО), количество которых постоянно увеличивается с ростом населения, изменением экономических, социальных и технологических условий существования человека.

Проблема утилизации и обезвреживания ТКО является одной из наиболее актуальных мировых проблем в области охраны окружающей среды. Развитие промышленности всегда сопровождается увеличением отрицательного воздействия на природу и человека.

Развитие экологически безвредных технологий переработки твердых коммунальных отходов актуально на сегодняшний день. Так перспективным является метод пароплазменной газификации ТКО. Пароплазменная газификация может быть использована для переработки 98% любых видов отходов. В ее основу положен высокотемпературный пиролиз, позволяющий достичь максимальных показателей выхода пиролизных газов, а дальнейшее повышение температуры до 1200° С и выше, дает возможность получения синтез-газа с минимальным содержанием вредных примесей [1].

Процесс пароплазменной газификации проходит в плазмохимическом реакторе. Реактор конструктивно включает в себя реакционную камеру, средство для вывода из нее целевого продукта, два плазматрона в реакционной камере, размещенных таким образом, что при подаче на них электрического напряжения в нем возникает дуговой электрический разряд, и средство для снабжения реакционной камеры плазмообразующим газом.

В реакторе используются линейные электродуговые плазматроны, которые в сравнении с плазматронами других схем обладают простотой конструкции, сравнительно большим ресурсом работы электродов, возможностью регулирования мощности разряда не только изменением силы тока дуги, но и за счет изменения напряжения на дуге [2].

В г. Калуге, согласно имеющимся данным, образуется широкий спектр отходов производства и потребления, различных видов и всех классов опасности. В среднем, на 343 предприятиях города Калуги, в течение календарного года образуется 932867,18 т опасных отходов [3].

Из общего годового количества, образовавшихся на территории города отходов предприятиями было использовано 294704,89 т отходов, что составляет 31,6 %. Также было обезврежено 2054,12 т отходов, что состав-

ляет 0,22 %. Основную долю отходов, подлежащих обезвреживанию, составляют ртутные лампы, люминесцентные ртутьсодержащие трубки, отработанные и брак, и отходы деревянной упаковки (невозвратной тары) из натуральной древесины в объеме 1890,884 т (92 % от общего объема обезвреженных отходов). Для размещения на полигоне ТБО г. Калуги предприятиями было направлено 72983,0 т отходов, что составляет 7,8 % от общего количества образовавшихся отходов. Основную долю захороненных на полигоне отходов составляют отходы потребления на производстве, подобные коммунальным – 46523,8 т (63,7 % от общего объема захороненных отходов), отходы производства пищевых продуктов – 7853,14 т (10,8 % от общего объема захороненных отходов), отходы бумаги и картона – 7512,32 т (10,3 % от общего объема захороненных отходов) [4].

Для переработки количества отходов, поступающих на полигон, прием производительность реактора 5 т/ч. Производительность разогрева плазматроном при скорости газификации с температурой 1100 °С составляет 500 кг/м<sup>2</sup>ч, следовательно, разогреваемая площадь должна быть в соответствии с рекомендациями [5] не менее 10 м<sup>2</sup>. Согласно проведенным расчетам внутренний диаметр плазмохимического реактора составит 3,3 м, а высота высокотемпературной зоны 2,5 м.

Таким образом, определены геометрические размеры реакционной зоны, то есть зоны высокой температуры и зоны подогрева. Для определения минимального объема высокотемпературной зоны требуются значения удельных энергозатрат, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Удельные энергозатраты в зависимости от расхода воздуха [1]

Расход плазмообразующего газа, г/с	Удельные энергозатраты, МДж/кг
100	9,3
500	8,12
1000	6,89
1500	5,5

Расчет геометрических размеров проведен по наиболее оптимальному режиму, то есть при подаче плазмообразующего газа 1000 г/с. При данном режиме работы реактора осуществляются процессы плавления и горения. Рассчитан минимальный объем высокотемпературной зоны по формуле (1), который составит 46 м<sup>3</sup>.

$$V = \frac{E_0}{750}, \quad (1)$$

где  $E_0$  – энергозатраты за 1 ч, МДж/ч; 750 МДж/м<sup>3</sup> - допустимая тепловая энергия, выделяющаяся в объеме реактора [6].

В настоящее время не существует методик расчета для плазмохимического реактора утилизации ТКО, поэтому были использованы известные методы расчета характеристик шахтных металлургических печей, процессы в которых близки к исследуемым процессам.

Объемный коэффициент теплопередачи найден по формуле Б.И. Китаева [7] и равен  $K_v = 808,5 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}$ .

$$K_v = \frac{-160 \cdot v^{0,9} \cdot T^{0,3}}{d^{0,75}} \cdot m, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость газов при  $0^\circ\text{C}$  и  $760 \text{ мм.рт.ст.}$ , м/с;  $T$  – средняя температура газов, К;  $m$  – коэффициент порозорности укладки;  $d$  – эквивалентный диаметр кусков, м.

Коэффициент теплопередачи от греющего газа посчитан по формуле (3) и составляет  $K = 323,4 \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}$ .

$$K = K_v \frac{d}{7,5(1-f)}, \quad (3)$$

Средняя температура газов в реакторе согласно проведенным расчетам составит  $901^\circ\text{C}$ . Эквивалентный диаметр частиц принимаем  $d=0,15 \text{ м}$ , что соответствует усредненному значению диаметра частиц, которое достигается при использовании современного оборудования сортировки ТКО [8].

Критерий подобия Био определяет интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой, и является количественной мерой интенсивности теплообмена. Коэффициент теплопроводности кусков ТКО согласно данным авторов [7] находится в интервале  $0,05 \leq \lambda \leq 0,2 \text{ ккал / (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$ . При данном значении коэффициента теплопроводности значение критерия  $Bi \geq 50$ , то есть значительно превышает единицу  $Bi \gg 1$ . Из теории теплообмена следует, что при  $Bi \gg 1$  температура поверхности шарообразных кусков равна температуре греющего газа. Поэтому температуру отходов можно считать постоянной во всей зоне подогрева и равной  $1100^\circ\text{C}$ .

Таким образом, задача о расчете времени нагрева до температуры газогенерации  $1100^\circ\text{C}$  сводится к расчету времени выравнивания температур внутри каждого куска при известной температуре поверхности. При значении критерия Фурье  $Fo = 0,4$  средняя температура шара практически равна температуре его поверхности, т.е. нагрев заканчивается. Примем значение коэффициента температуропроводности в соответствие с монограммой [7] равным  $a = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 / \text{ч}$ , что соответствует среднему значению коэффициента температуропроводности бумаги и различных пород дерева.

По методике расчета печей газификаторов [9] по формуле (4) произведен расчет времени нагрева ТКО в реакторе, значение которого составит 5 ч.

$$\tau = \frac{F \cdot R^2}{a}, \quad (4)$$

где  $R$  – радиус шара, м;  $F$  – разогреваемая площадь,  $\text{м}^2$ .

Скорость схода отходов определена по формуле (5) и равна 0,9 м/ч.

$$\omega = \frac{P}{F \cdot \rho}, \quad (5)$$

где  $P$  – производительность печи, кг/ч;  $\rho$  – плотность ТКО, кг/м<sup>3</sup> [10].

Высота зоны нагрева рассчитана по формуле (6) и составляет 4,5 м.

$$H = \omega \cdot \tau. \quad (6)$$

Общая высота плазмохимического реактора суммируется из высокотемпературной зоны и зоны подогрева и будет равна 7 м.

Таким образом, процесс пароплазменной газификации является весьма эффективным и имеет определенные экологические преимущества в сравнении с другими технологиями переработки ТКО, поскольку не дает существенных выбросов в атмосферу, позволяет получать электрическую энергию за счет высокого энергетического потенциала синтез-газа и способствует более рациональному использованию природных ресурсов.

Произведенное исследование позволяет сконструировать плазмохимический реактор для пароплазменной газификации ТКО, подвергающихся утилизации в г. Калуге.

В условиях развития потребления в обществе и постоянно увеличивающегося количества образующихся отходов, применение плазменных технологий позволит эффективно утилизировать отходы и получать из них вторичные коммерческие продукты.

### Список литературы

[1] Морозенко М.И., Черняев С.И., Попова Е.В., Морозенко Д.Н., Карева Е.О. Исследование характеристик генераторного газа при пароплазменной газификации ТБО // *Успехи современного естествознания* ИД. «Академия естествознания». - 2016. - №5. - С. 141-148.

[2] Корсунов К.А., Брожко Р.Н. Повышение эффективности работы электродуговых плазмотронов для обработки материалов // *Успехи прикладной физики*. - 2013. – Т. 1. - № 2. - С. 161-166.

[3] Попова Е.В., Морозенко М.И. Технология плазменной газификации твердых бытовых отходов // *Научно-технические технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы Региональной научно-технической конференции*. – 2016 г. - Т. 2. – С. 37-40.

[4] *Доклады о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области*. – Калуга: РА «Типограф», ИП Лазарев П. А. 2013-2015 гг.

[5] Клименко Г.К., Ляпин А.А. Генераторы плазмы: методические указания к выполнению курсового проекта - М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2010. - 64 с.

[6] *Гарбер, Э.* Моделирование и совершенствование теплового режима и профилировок валков широкополосных станов горячей прокатки: монография. - Череповец: ЧГУ; Москва: Теплотехник, 2013. - 114 с.

[7] *Титков, В.В.* Физические основы расчета тепловых процессов в электроэнергетическом оборудовании: учебное пособие. - СПб.: Издательство Политехнического университета, 2011. - 172 с.

[8] *Моссэ А.Л., Савчин В.В.* Плазменные технологии и устройства для переработки отходов. - Минск: Белорусская наука, 2015. - 414 с.

[9] *Копытов В.В.* Газификация конденсированных топлив. Ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития. - М.: Инфра-Инженерия, 2015. - 504 с.

[10] *Таблицы плотности отходов.* URL: <http://rubezh-mo.ru/page/tablici-plotnosti-tbo.html> (дата обращения: 15.03.2017).

**Попова Елизавета Владимировна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [elis-afff@yandex.ru](mailto:elis-afff@yandex.ru)

**Морозенко Мария Ивановна** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [mororzenro\\_mi@mail.ru](mailto:mororzenro_mi@mail.ru)

Д.В. Зубков, А.С. Гордеев

## ПОЛУЧЕНИЕ НАНЕСЕННЫХ ПАЛЛАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ГИДРОКАРБОНИЛЬНЫМ МЕТОДОМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Каталитические системы на основе нанесенного на разнообразные подложки палладия известны давно и широко используются для осуществления самых разнообразных химических процессов. Свойства получаемых катализаторов определяются, с одной стороны, типом предшественника и характером процессов его превращения в активные частицы палладия, а с другой стороны, особенностями структуры носителя. Кроме того, отмечено, что для палладиевых катализаторов существует более выраженная зависимость свойств от условий получения по сравнению с катализаторами на основе других металлов платиновой группы [1]. В качестве предшественников металла традиционно используются растворы хлорида палладия (II), причем палладий в растворе присутствует в форме комплексного аниона  $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ . Другим распространенным предшественником являются аммиачные комплексы палладия, в которых он связан в форме комплексного катиона состава  $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ . В ряде работ в качестве предшественника используется диацетат палладия и ацетилацетонатные комплексы. Во многих случаях отмечается нестабильность свойств получаемых катализаторов, что связывается с сильным влиянием условий термической обработки, условиями восстановления металла, наличием примесей посторонних ионов.

Не меньшее значение имеет природа используемой подложки. Принципиально различно ведут себя оксидные и углеродные подложки. На оксидных носителях закрепление металла связано с протекающими процессами ионного обмена и связь частиц металла с поверхностью носителя осуществляется через ионы металла. Процессы, происходящие при закреплении металла на углеродной поверхности значительно сложнее и многообразнее. Во-первых, углерод при достаточно высокой температуре ведет себя по отношению к ионам металла как восстановитель, а в кислой среде восстановительные свойства проявляются уже при комнатной температуре. Во-вторых, платиновые металлы, в том числе и палладий, склоны к образованию карбидов, что сильно влияет на адсорбционные и каталитические свойства [1]. В-третьих, поверхность углеродных носителей менее однородна, содержит участки разной полярности и различные функциональные группы.

В качестве альтернативы традиционным носителям рассматривается применение стекловолоконных носителей [2]. Отмечается более высокая активность таких катализаторов, что связывается с наличием специфических активных центров, формирующихся при взаимодействии металла со стеклом.

Качественно иные возможности для получения нанесенных палладиевых катализаторов открывает использование в качестве предшественника карбонилхлоридных комплексов палладия (I).

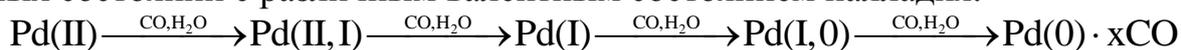
Известно, что монооксид углерода легко восстанавливает палладий из растворов его двухвалентных соединений до металла в виде черной при обычных условиях. Процесс можно описать общим уравнением:



Скорость образования палладия по реакции (1) описывается кинетическим уравнением [3]:

$$\frac{dc(\text{Pd}^0)}{dt} = Kc_{\text{CO}}c_{\text{Pd}^{2+}}c_{\text{H}_2\text{O}}^2c_{\text{Cl}^-}^{-1}c_{\text{H}^+}^{-2}$$

Это соотношение определяет возможность регулирования скорости выделения металлической фазы палладия, вплоть до полного блокирования ее образования за счет изменения состава реакционной среды. Как видно, протеканию реакции способствует увеличение концентрации воды, а увеличение концентрации кислоты напротив, замедляет ее. Показано, что протекание реакции (1) сопровождается образованием ряда промежуточных состояний с различным валентным состоянием палладия:



Проведение реакции в водно-спиртовых и в водно-ацетоновых растворах в присутствии конц. HCl позволяет замедлить ее и остановить процесс на стадии образования Pd(I). Процесс восстановления можно описать уравнениями [4]:



Дальнейшее восстановление возможно только при увеличении концентрации воды по схеме:



Использование солянокислых водно-органических растворов карбонилхлорида палладия(I) позволяет проводить процесс формирования металлической фазы на поверхности носителя при комнатной температуре, избегая тем самым негативного влияния термолиза на структуру и свойства катализатора. Несомненной является возможность влиять на скорость образования металлической фазы, размер и форму частиц, в том числе, и благодаря тому, что частицы палладия образуются исключительно в результате реакции редоксораспада карбонилхлоридного комплекса, что важно при использовании восстанавливающих носителей, например, активных углей. Кроме того, получаемые катализаторы свободны от посторонних ионов, т.к. в качестве рабочего раствора используется несолевая система, а все продукты редоксораспада летучи и легко удаляются.

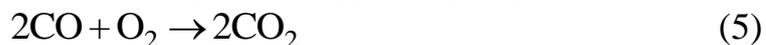
В качестве подложки использовали активный оксид алюминия в виде гранул диаметром 3-5 мм. Величина удельной поверхности, измеренная методом БЭТ, составляет  $\sim 360 \text{ м}^2/\text{г}$ , общий объем пор –  $0,6 \text{ см}^3/\text{г}$ .

Рабочий раствор карбонилхлорида палладия готовили обработкой монооксидом углерода раствора  $\text{PdCl}_2$  в смеси ацетона (этанола) с соляной

кислотой в соотношении 4:1. Монооксид углерода пропускали до перехода окраски раствора из красно-бурой, характерной для иона  $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ , до оливковой, характерной для иона  $[\text{PdCOCl}_2]$ .

Раствор хлорокомплекса палладия наносили методом опрыскивания в токе азота с последующей отмывкой водой до отрицательной реакции на хлорид-ион и высушиванием в вакууме. В процессе контакта раствора предшественника с поверхностью носителя наблюдалось появление серой окраски, что связано с формированием металлической фазы палладия за счет редоксораспада карбонилхлоридного комплекса под действием адсорбционной воды, находящейся в некотором количестве на поверхности и в порах носителя. Очевидно, что, изменяя содержание воды за счет предварительной обработки носителя водно-органическими растворами, можно влиять на формирование частиц металла в порах носителя.

Каталитические свойства полученного катализатора исследовались в модельной реакции окисления монооксида углерода, которая является важнейшим процессом дожигания выхлопных газов автомобилей:



Эксперименты по окислению CO проводились в стеклянном U-образном реакторе с внутренним диаметром  $1 \cdot 10^{-3}$  м при комнатной температуре. Реакционную смесь состава 0,5% CO; 5,0% O<sub>2</sub> и 94,5% N<sub>2</sub> пропускали через слой образца высотой 0,05 м с объемным расходом от 1,6 до 6 мл/с. Общее давление в системе составило 1 атм. Время пропускания изменялось в интервале 5-10 мин. Образующийся CO<sub>2</sub> улавливали щелочным поглотителем и определяли концентрацию остаточной щелочи титриметрическим методом. В данных условиях степень превращения CO в CO<sub>2</sub> составила от 80 до 95%, что говорит о высокой активности полученного катализатора.

### Список литературы

[1] *Лисицын А.С.* Современные проблемы и перспективы развития исследований в области нанесенных палладиевых катализаторов // Российский химический журнал. 2006. – т. L. – №4. – С. 140-153.

[2] *Чуб А.О., Сукнеев А.П.* Кинетика окисления CO на Pd-содержащем стекловолоконном катализаторе // Катализ в химической и нефтехимической промышленности. – 2008. – №1. – С. 5-9.

[3] *Федосеев И.В., Шевницына Л.В., Гордеев А.С.* Гидрокарбонильный процесс получения порошков палладия // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2005. – т.48. – Вып. 12. – С.16–18.

[4] *Федосеев И.В., Гордеев А.С.* Синтез и свойства карбонилхлоридов палладия (I) // Журнал неорганической химии. – 2007. – т.52. – №5. – С.6–8.

**Зубков Дмитрий Вячеславович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: TDZ2011@yandex.ru

**Гордеев Алексей Сергеевич** – старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: TDZ2011@yandex.ru

М.И. Христофорова, О.В. Яковлева, А.А. Хролынцев

## **ПРОВЕДЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ГРЯЗЕЕМКОСТЬ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Каждый день в воздух и водные бассейны нашей планеты выбрасывается огромное количество разнообразных загрязняющих веществ, которые могут обладать токсичными свойствами и изменять химический состав воды, оказывая тем самым сильное влияние на здоровье и состояние человека.

В результате этого, на сегодняшний день проблема качества питьевой воды стала как нельзя актуальной. В последние годы очистка воды становится не просто потребностью, а насущной необходимостью.

В условиях стремительного развития современного общества очистка воды требует особого внимания, как в производственных процессах, так и в питьевом водоснабжении. Качество определяется тем, насколько профессионально проведена очистка воды и ее кондиционирование [1].

Для того, чтобы вода считалась питьевой, она должна по своему составу соответствовать определенным требованиям, причем, как в естественном состоянии, так и после обработки.

К традиционным, часто применяемым при очистке воды методам относятся коагуляция, отстаивание, фильтрация, умягчение, дезинфекция, кондиционирование различного типа и прочие методы [2].

Фильтрация является одним из наиболее распространенных и надежных технологических приемов получения воды высокого качества. Для его осуществления применяются различные фильтрационные среды, одной из которых являются нетканые фильтрационные материалы [3].

Такие материалы получили широкое распространение для изготовления полимерных фильтрующих элементов. Наряду с их высокой эффективностью, такие фильтрующие элементы обладают относительно малой грязеемкостью, что приводит к их быстрому засорению. Пользователям становится экономически не выгодно применять такие фильтрующие элементы, т.к. они требуют постоянной замены, потому что являются нерегенерируемыми.

Для того, чтобы увеличить срок службы таких фильтроэлементов, при их производстве необходимо добиваться максимальной грязеемкости.

Целью исследования являлась проверка на основе экспериментов правильности разработанной методики расчета структуры фильтрующего элемента из нетканого полимерного материала, которая позволит получить фильтроэлемент, обладающий максимальной грязеемкостью.

Объект исследования - фильтрующий элемент, представленный на рис. 1, для очистки жидкостей от механических примесей, изготовленный по технологии «meltblown» - «мелтблаун».



Рис. 1. Опытный фильтрующий элемент

Структура опытного образца была сформирована на основании разработанной методики [4] для тестового загрязнителя (кварца молотого пылевидного марки Б ГОСТ 9077-82).

Для экспериментальной проверки разработанной методики проводились сравнительные испытания на грязеемкость с помощью фильтрующих элементов, у которых структура фильтрующего слоя отличалась от оптимальной. Для этого в процессе производства фильтроэлементов были выбраны несколько законов изменения давления воздуха на регуляторе от диаметра фильтрующего элемента: ступенчатый; параболический; экспоненциальный; линейный; гиперболический.

Проведение сравнительных испытаний на грязеемкость осуществлялось на гидравлическом стенде, представленном на рис. 2, с использованием искусственного загрязнителя (кварц молотый пылевидный марки Б ГОСТ 9077-82).



Рис. 2. Гидравлический стенд для проведения ресурсных испытаний

В качестве исходных показателей принимали: расход воды через фильтрующие элементы  $7 \pm 0,2$  л/мин; температура воды  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . В процессе проведения испытаний концентрация загрязнителя и расход жидкости поддерживались постоянными.

Методика экспериментов состояла в следующем: в фильтродержатель устанавливался фильтрующий элемент. После чего для удаления воздуха из системы и самого фильтра в течение 10-15 минут через него прокачивалась чистая вода. Затем на опытном фильтроэлементе фиксировался начальный перепад давлений, после этого в поток жидкости подавался тестовый загрязнитель. Через каждые 4 грамма введенного загрязнителя фиксировался перепад давлений на фильтрующем элементе. После того, как перепад давлений на фильтрующем элементе превышал максимальное значение, равное 2,4 бар, эксперимент заканчивался.

Для сравнения образцов фильтрующих элементов использовали в качестве показателя значение массы введенного загрязнителя, при котором перепад давлений на фильтре составляет 2,4 бар ( $m_{24}$ , г).

В таблице 1 приведены показатели грязеемкости испытанных образцов.

Таблица 1. Показатели грязеемкости образцов с различными структурами

Номер фильтроэлемента	Показатель грязеемкости, г
1	36
2	34
3	40
4	49
5	43
6	36

Согласно данным таблицы 1 фильтрующий элемент № 4, изготовленный с учетом разработанной методики [4], обладает наибольшей грязеемкостью по сравнению с остальными опытными образцами.

Проведенное экспериментальное исследование подтверждает правильность расчета структуры фильтрующего элемента.

Результаты, полученные в данной работе, позволят провести комплексную оптимизацию фильтрующих элементов по эффективности и грязеемкости.

### Список литературы

[1] Очистка воды. URL: <http://есоб3.ru/ochistka-vody> (дата обращения 17.03.2017).

[2] *Христофорова М.И., Хролынцев А.А., Яковлева О.В.* Поиск оптимальных параметров фильтрующего слоя для элементов из нетканого полимерного волокнистого материала // Научные технологии. – 2016. – Том 17. - № 5. – С. 69-73.

[3] Фильтрующие нетканые материалы для очистки воды. URL: <http://www.gkh.ru/article/101821-materialy-dlya-ochistki-vody> (дата обращения 17.03.2017).

[4] *Христофорова М.И., Хролынцев А.А., Яковлева О.В.* Разработка методики расчета структуры фильтрующего элемента для повышения его грязеемкости // Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции. - 2016 г. - Т. 2. – С. 54-58.

**Христофорова Мария Игоревна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [maskaApril@Yandex.ru](mailto:maskaApril@Yandex.ru)

**Хролынцев Антон Александрович** – ведущий инженер-конструктор АО «Фильтр». E-mail: [antonische\\_x@mail.ru](mailto:antonische_x@mail.ru)

**Яковлева Ольга Владимировна** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [yakowlewaolga24@mail.ru](mailto:yakowlewaolga24@mail.ru)

В.Е. Короткова, С.И. Черняев

## **РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ СТЕНДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В технологиях высокоэффективной фильтрации, как правило, присутствует множество взаимозависимых переменных, характеризующихся параметрами производственной среды, в той или иной мере влияющих на качество рабочих процессов: температурой, влажностью, скоростью движения воздуха, а также содержанием в нем химических и механических (аэрозолей) примесей. Но есть и общие условия обеспечения процесса, например, для того, чтобы очищенный воздух не перемешивался с уже загрязненным, необходима циркуляция воздуха с организацией воздушных потоков; а, чтобы в чистое помещение не просачивался воздух извне, нужен положительный перепад давления [3].

Также, даже в условиях минимума технологических сдувок радиоактивных газов, если речь идет об обеспечении безопасности персонала при обращении с газообразными радиоактивными отходами и предотвращении выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду, рекомендуется решать проблему за счет совершенствования и создания основного, и вспомогательного оборудования, предназначенного для АЭС, в том числе, высокоэффективных фильтров очистки воздуха [2, 5].

Для контроля высокого качества фильтрации фильтрующие элементы высокоэффективных фильтров обязательно должны проходить испытания на протекание, герметичность, определение локальной и интегральной эффективности фильтрования, определение размера наиболее проникающих частиц (MPPS). Сами же фильтры должны проходить испытания по определению эффективности и перепада давления на фильтре. Испытания высокоэффективных фильтров очистки воздуха выполняются в двух случаях: на предприятии-изготовителе или на месте эксплуатации [4].

Стенды, предназначенные для контроля эффективности фильтрации и перепада давления эффективных воздушных фильтров по частицам (ЕРА), высокоэффективных (HEPA) и ультравысокоэффективных (ULPA), используемых в системах вентиляции и кондиционирования и технологическом оборудовании, в том числе в чистых помещениях в должны соответствовать требованиям ГОСТ Р ЕН 1822-5-2014.

Метод определения эффективности основан на счете частиц и использовании жидких материалов для генерирования контрольных аэрозолей и позволяет стандартизировать классификацию фильтров по их эффективности [1, 4].

Метод определения перепада давления основан на непосредственном замере перепада давления при номинальной производительности фильтра.

Схема типичной установки для контроля высокоэффективных фильтров представлена на рисунке 1.

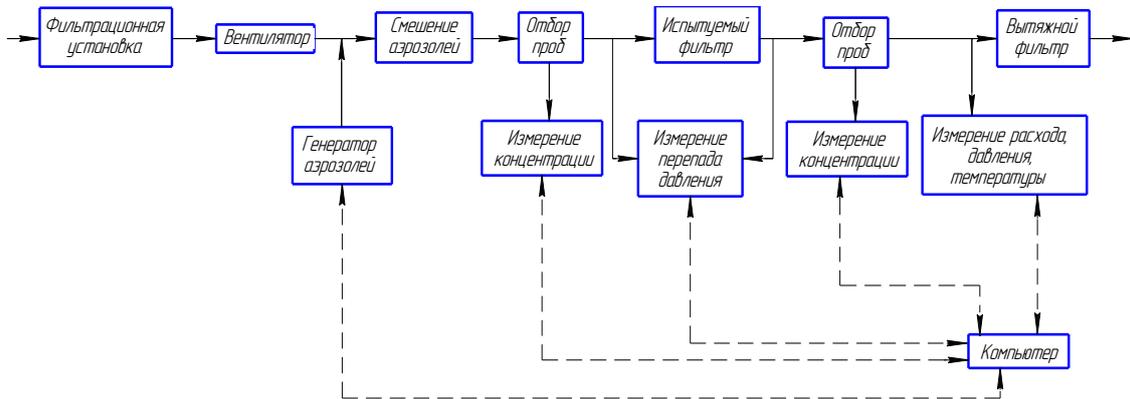


Рис. 1. Схема установки для испытания высокоэффективных фильтров

Контролируемый воздух поступает в схему через фильтрационную установку. Рекомендуется применять трехступенчатую систему очистки – на первой ступени устанавливается фильтр грубой очистки, на второй – тонкой очистки, на третьей – высокоэффективный фильтр. При помощи вентилятора с регулируемой производительностью контролируемый воздух поступает далее по схеме. Для измерения перепада давления на фильтре устанавливается дифференциальный манометр. После определения перепада давления на фильтре выполняется продувка фильтра чистым воздухом.

Перед смесительной камерой из генератора аэрозоля в воздух подается контрольный аэрозоль. Испытания могут проводиться с использованием как монодисперсного, так и полидисперсного аэрозоля. Средний диаметр частиц должен соответствовать точке MPPS, т.е. размеру частиц, при котором фильтрующий материал имеет наименьшую эффективность. В смесительной камере происходит смешение воздуха и аэрозоля. Для равномерности распределения потока рекомендуется устанавливать газораспределительную решетку. Далее воздух проходит через контролируемый фильтр и отводится из стенда. Для измерения концентрации аэрозоля до и после фильтра устанавливаются пробоотборники. Измерение концентрации производится оптическим счетчиком. Далее по схеме установлены устройство для замера расхода воздуха, датчик давления и датчик температуры.

После окончания испытаний необходимо провести оценку результатов. Проскок  $P$  и эффективность  $E$  вычисляются по следующим формулам [1]:

$$P = \frac{C_{N,d}}{C_{N,u}}, \quad (1)$$

$$E = 1 - P, \quad (2)$$

$$C_{N,d} = \frac{N_d}{\dot{V}_{s,d} \cdot t_d}, \quad (3)$$

$$C_{N,u} = \frac{k_D \cdot N_u}{\dot{V}_{s,u} \cdot t_u}, \quad (4)$$

где  $N_u$  – число сосчитанных частиц до фильтра;

$N_d$  – число сосчитанных частиц после фильтра;

$k_D$  – коэффициент разбавления;

$C_{N,d}$  – концентрация частиц до фильтра (численная);

$C_{N,u}$  – концентрация частиц после фильтра (численная);

$\dot{V}_{s,u}$  – расход воздуха до фильтра;

$\dot{V}_{s,d}$  – расход воздуха после фильтра;

$t_u$  – время отбора проб до фильтра;

$t_u$  – время отбора проб после фильтра.

### Список литературы

[1] ГОСТ Р ЕН 1822-5-2014 «Высокоэффективные фильтры очистки воздуха ЕРА, НЕРА и ULPA. Часть 5. Определение эффективности фильтрующих элементов». [Электронный ресурс]. // Информационная система МЕГАНОРМ: сайт. - Режим доступа: <http://meganorm.ru/Index2/1/4293767/4293767606.htm> (дата обращения 01.02.2017).

[2] *Короткова В.Е., Кадомцев Г.М., Черняев С.И.* К вопросу об очистке воздуха от радиоактивных аэрозолей // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 2. – 28-35 с.

[3] *Маркелова Н.П., Кадомцев Г.М., Черняев С.И.* Анализ технологии высокоэффективной фильтрации воздуха и ключевых особенностей ее обеспечения // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 3-2. – С. 263-267.

[4] *Маркелова Н.П., Кадомцев Г.М., Черняев С.И.* Некоторые особенности контроля высокоэффективных воздушных фильтров // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 11. – с. 156-161.

[5] Пути дальнейшего совершенствования систем отчистки технологических газов АЭС [Электронный ресурс] // Важная экология: сайт - Режим доступа: <http://www.rightecology.ru/riecos-680-1.html> (Дата обращения 02.04.2017).

**Короткова Валерия Евгеньевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [kagami-no-yoru@yandex.ru](mailto:kagami-no-yoru@yandex.ru)

**Черняев Сергей Иванович** – д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [ambler@list.ru](mailto:ambler@list.ru)

УДК 378.1

С.Н. Никулина, А.В. Челенко, О.А. Падалка

## **РОЛЬ СУБЪЕКТОВ СРЕДНЕГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В промышленно развитом Калужском регионе обеспечению экологической безопасности уделяется большое внимание в виду того, что в нем сосредоточен конгломерат субъектов как новой экономики (резиденты особых экономических зон, техно- и промпарки), так и традиционной (акционерные общества сфер машиностроения, приборостроения и др., сохранившиеся в довольно значительных количествах к настоящему времени). В регионе наблюдения за качеством воздуха, воды, в том числе и по учету, выявлению негативного воздействия на окружающую среду (ОС) ведутся уже более 15 лет кафедрой «Промышленная экология» КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана и фирмой «Экоаналитика» [1,2]. Эти исследования поддерживаются органами местного самоуправления, санитарной и экологической службами [1, с.3]. Все объекты предпринимательства регулярно предоставляют в муниципалитет (г. Калуга) сведения о выбросах и сбросах, а также и о методах производственного контроля. Такая совместная деятельность в рамках региональной системы обеспечения экологической безопасности позволяет соблюдать природоохранное законодательство с минимальными финансовыми затратами, поскольку часть из них вкладывается муниципалитетом.

Сосредоточенный в регионе промышленный конгломерат и стройиндустрия в значительной степени воздействует на ОС, загрязняя воздух, воду и почву. Важно оценить степень этого влияния в результате деятельности различных субъектов предпринимательства, объектов обеспечения жизнедеятельности и автотранспорта.

Исследования динамики суммарных выбросов в атмосферу региона

Априори считалось, что загрязнение воздуха в основном осуществляется, кроме отопительного сезона, промышленностью региона. И действительно, исследования показали, что в структуре выбросов промышленных субъектов преобладает СО (38%), углеводороды (25%) и NO<sub>2</sub> (18%), как видно из данных рис.1, где приведены данные инструментальных замеров.

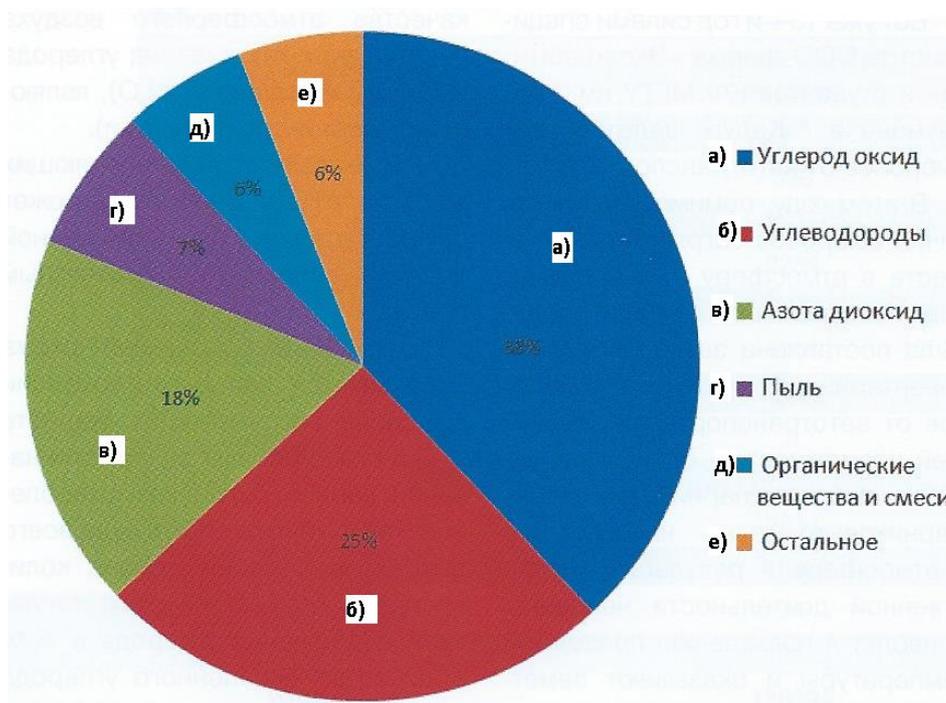


Рис. 1. Структура выбросов промышленных субъектов

Концентрация пыли обычно находится в этих выбросах в диапазоне 6...7%. Это весьма негативный фактор, действующий на состояние здоровья населения региона, поскольку при концентрации пыли в воздухе  $0,08 \text{ мг/м}^3$  люди ощущают дискомфорт [1, с.4], а при ее увеличении до  $0,25...0,5 \text{ мг/м}^3$  (0-1 максимально разовой либо 1-3 среднесуточной ПДК) наблюдается ухудшение состояния больных с легочными заболеваниями. Постоянное пребывание людей в атмосфере с концентрацией пыли выше  $0,5 \text{ мг/м}^3$  (более 1 максимально разовой ПДК), приводит к частым заболеваниям и возрастанию смертности. Особенно чувствительный к качеству воздуха пожилые люди с сопутствующими сердечно-сосудистыми и легочными заболеваниями и дети, которые из-за своего роста получают максимальную концентрацию пыли.

Анализ причин запыленности показывает, что ответственность лежит на муниципальных органах, руководителях, субъектах промышленности и обычных гражданах, причем выделить степень ответственности каждой из категорий невозможно. Поэтому исключение любой из этих категорий из зоны ответственности делает борьбу за чистый воздух недостаточной. Только общие усилия могут привести к желаемому эффекту.

С целью объективной оценки степени загрязнения воздуха региона выполнены исследования концентраций выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) от автотранспортных средств (АТС) по специальной методике [1, с.6].

Для региона принимались прогнозные данные по отнесению АТС к определенным экологическим классам.

Сравнение количества АТС и их выбросов в атмосферу по типам АТС приведены на рис.2. Данные рис.2 пронормированы на общее количество городского транспорта (в шт.) и общий выброс загрязняющих атмосферных веществ (в т.).



Рис. 2. Структура автотранспортных средств, зарегистрированных в г. Калуге, %

Из рис. 2 видно, что основной вклад в автотранспортную нагрузку на атмосферу вносят легковые автомобили, поскольку их доля в структуре городского автопарка составляет около 93%. В то же время, несмотря на значительно меньшее количество автомобилей и автобусов (каждый из типов - около 2% в составе автопарка), их вклад в загрязнение составляет 14 и 12% соответственно. Поэтому мероприятия по регулированию потока автотранспорта, в том числе недопущение большегрузных автомобилей и автобусов в районы плотной жилой застройки, могут произвести ощутимый экологический эффект.

Важно было оценить концентрацию парниковых газов, отходящих в атмосферу от стационарных источников: объектов теплоэнергетики, хранения, транспортировки, распределения природного газа и др. с использованием сводного тома ПДВ г. Калуги [1, с.10]. Оказалось, что основная масса теплоэнергетических устройств в регионе работает на природном газе, поэтому для проведения оценки выбросов  $\text{CO}_2$  принимались во внимание только энергетические установки, потребляющие этот вид топлива. В результате анализа базы данных выявлено 298 Калужских предприятий, сжигающих природный газ в теплоэнергетических целях. Сведения о количестве газа, сжигаемого наиболее мощными потребителями (153 предприятия, расходующие около 78% всего газа по региону), получены непосредственно из инвентаризаций их выбросов. Данное количество газа, сжигаемого более мелкими потребителями (145 предприятий), получено оценочным методом. Для оценки использовались сведения о выбросах нормируемых газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) из базы сводного тома. Полученные данные общего потребления газа помогают определить суммарные выбросы  $\text{CO}_2$  всеми энергетическими установками региона.

Расчеты выбросов двуокиси углерода, осуществляемых крупными потребителями, проведены в соответствии с методическими рекомендациями

[1]. Расчеты выбросов парниковых газов, осуществляемых мелкими потребителями, проведены с привлечением метода статической обработки. При этом установлено, что отношение количества образующегося  $\text{CO}_2$  к количеству образующихся при этом нормируемых газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) составляет 520 при стандартной ошибке, равной 135. С использованием этого соотношения проведена оценка  $\text{CO}_2$  вышеуказанными мелким и потребителями. Для укрупненной оценки выбросов двуокси углерода в целом по городу использовались сведения об общем количестве газа, отпущенного потребителям.

Оценка выбросов  $\text{CO}_2$  в разрезе целевого использования топлива показал, что выброс основного приходится на отопление жилых и производственных зданий (92%), в то время как на производственные цели приходится лишь около 8% выбросов. Этот анализ позволяет выделить приоритетные направления реализации программы энергосбережения.

Итоговые результаты проведенной оценки выбросов всех парниковых газов в атмосферу региона показывают, что суммарный выброс составляет 1894299 т.  $\text{CO}_2$  – эквивалента в год. Распределение этих выбросов в зависимости от источника поступления в атмосферу приведено на рис. 3.



Рис. 3. Распределение выбросов парниковых газов в зависимости от источника поступления в атмосферу, %

Из рисунка видно, что, помимо отопления жилых и производственных помещений, значительное количество парниковых газов поступает в воздух от АТС.

Выпуски сточных вод, их воздействие на водные объекты региона

Все субъекты предпринимательства используют пресную воду в технологических целях и, после применения различных способов очистки, направляют ее в горколлектор и далее на очистные сооружения облводо-

канала г. Калуги. После этой очистки они сбрасываются единым выпуском в реку Оку за пределами городской черты.

Ливневые воды собираются сетью городской канализации и сбрасываются без очистки от ЗВ посредством рассредоточенных выпусков в реки Ока, Терепец, Киевка и Яченское водохранилище (см. рис. 4), именуемой как городская водоотводящая система поверхностного стока (ГВСПС) [1, с.14].

На рис.4 приведены также створы городского мониторинга рек, исследующие общее загрязнение всех водных объектов в районе г. Калуги всеми видами промышленной и другой хозяйственной деятельности [2].

Сбросы ливневых вод в поверхностные водные объекты осуществляются посредством 23 наиболее приоритетных выпусков (рис.4).

Исследования показали, что основная доля стоков приходится на городские территории, доля стоков с территорий промышленных предприятий составляет всего чуть более 6%. При этом объемы сброса ливнесточных вод в реку Терепец с городских территорий и площадок предприятий примерно равны (58% и 42% от общего сброса в реку соответственно).

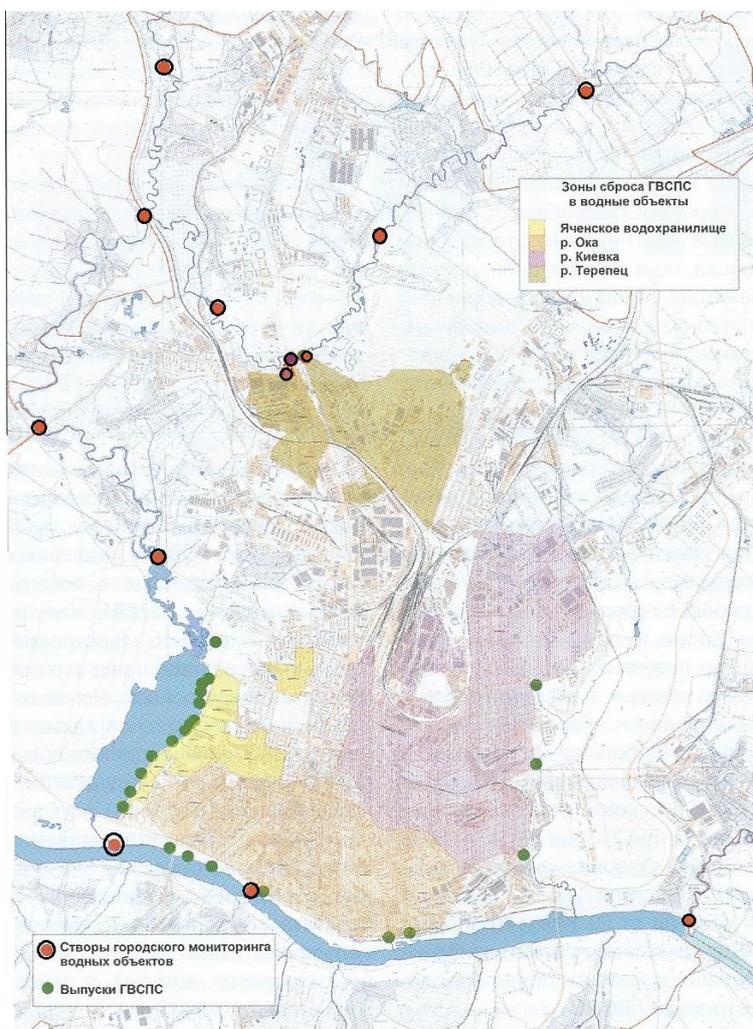


Рис.4 Основные эксплуатационные зоны, выпуски ГВСПС и створы городского мониторинга водных объектов

В то же время общий объем организованных сбросов ливнесточных вод в эту реку небольшой, он составляет всего 0,03% от всех сбросов во все городские водные объекты. Объем сбросов в Яченское водохранилище также незначительный (около 0,3% от всех сбросов). Основной объем сбросов в реку Киевку (92%) приходится на городские территории, сбросы предприятий составляют около 8% от общего объема стоков. Аналогично распределяются объемы сбросов в Оку. Здесь на предприятия приходится около 4 % сбросов, остальные 96% ливневых стоков поступают в реку от городских территорий. В целом объем сбросов в Оку составляет 46%, а в реку Киевку – 54% от всех сбросов в водные городские объекты.

В заключении важно отметить степень вклада финансовых средств субъектов среднего предпринимательства и муниципалитета в улучшение экологической безопасности Калужского промышленного развитого региона [1, с.37], в последний обнародованный период.

Средства бюджета МО г. Калуги: 20856,34 тыс. руб. Средства объектов среднего бизнеса (АО «Тайфун», АО «Восход» – КРЛЗ, АО «КНИИТ-МУ», АО «КОФ» КАЛИТА», индустриальные парки «Росва» и «Грабцево»): 14434,30 тыс. руб.

### **Список литературы**

[1] Состояние и охрана окружающей среды в Калуге: сборник материалов. Калуга: изд-во ООО фирма «Экоаналитика», 2015. 76 с. Сайт <http://ecoanalit.ru>

[2] Маньшина И.В., Падалка О.А, Коржавый А.П, Кузнецов В.В. Информационное обеспечение в системе экологического мониторинга регионов и городов // Научные технологии. 2015. Т.16. № 1.с.86-92.

[3] Коржавый А.П, Челенко А.В. Способы и технологии очистки пресной воды, загрязненной в современной техносфере // Научные технологии. 2015. Т.16.№ 9.с.66-77.

**Никулина Светлана Николаевна** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: voinsveta579@mail.ru

**Челенко Александра Викторовна** – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: aperedva@yandex.ru

**Падалка Ольга Александровна** – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: konola.pad@mail.ru

Н.О. Дудрова, Н.А. Бычков

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ БЕЗРЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЕЕ ЖЕСТКОСТИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Развитие техногенной цивилизации с одной стороны все больше загрязняет естественные источники водных ресурсов различными вредными для здоровья людей и окружающей среды веществами, с другой стороны увеличение населения планеты требует все больше и больше воды, пригодной для потребления и технологических процессов. Очистка воды из природных источников для потребления и сбрасываемой после технологических процессов – одна из острейших проблем современной цивилизации. Одним из загрязнителей природной воды, доставляющих «неприятности» как для здоровья человека, так и для использования в технологических процессах, является наличие в ней солей жесткости. О влиянии повышенного содержания солей жесткости в воде на здоровье человека, достаточно много публикаций. Применение «жесткой воды» при ее кипячении в технологических целях приводит к образованию накипи на поверхностях оборудования. Образующаяся накипь на рабочих поверхностях ухудшает параметры оборудования и даже может вывести его из строя. Образование накипи – это проблема, характерная для многих областей техники. Практически все отрасли промышленности и объекты жилищно-коммунального хозяйства связаны с ней. Поэтому, очистка воды от солей жесткости в настоящее время актуальна.

Для снижения накипеобразования (очистки воды от солей жесткости), на сегодняшний день существуют различные методы, как реагентные, так и безреагентные. Как одни, так и другие имеют свои положительные и отрицательные стороны. При использовании реагентных методов в технологических процессах, существенной проблемой является утилизация, образующегося в результате химических реакций, шлама. Безреагентные методы очистки воды от солей жесткости, практически избавлены от этой проблемы. Поэтому, наибольшее предпочтение отдается последним, ввиду того, что они, с одной стороны, позволяют защитить оборудование от накипи, а с другой не связаны с образованием значительного количества отходов и применением химических реагентов. К таким методам относятся методы обработки воды физическими полями – магнитным, электромагнитным, ультразвуковым, электрическим.

Магнитная обработка воды - это вид «умягчения» воды, который существует уже много лет и является достаточно эффективным во многих случаях. Несмотря на свою распространенность, существует сравнительно мало научной литературы по магнитной обработке воды. Не ясно, как она работает, т.е. не установлен определенный механизм работы.

В основу одной из теорий положено влияние магнитного поля на коллоидные примеси воды, по другой - изменяется кластерная структура воды. При воздействии магнитного поля в объеме воды образуются центры кристаллизации, и поэтому выделение нерастворимых солей жесткости происходит не на теплообменнике, а в объеме воды. Другими словами, вместо твердой накипи в обрабатываемой воде появляется тонкодисперсный осадок, который легко удаляется с теплопередающей поверхности и с трубопроводов [1].

Наиболее известными преимуществами магнитной обработки воды для различных водооборотных установок являются: уменьшение потребления энергии, экономия времени и снижение затрат на реагенты; повышение защиты от коррозии в системе и увеличение срока службы существующего оборудования.

Эффективность обработки воды магнитным полем достигается лишь при соблюдении правильных параметров: время обработки; подобранная напряженность поля; определенная скорость подачи воды и ее определенный ионный и молекулярный состав; температура подаваемой воды; атмосферное давление; давление воды и т.д. [2].

При ультразвуковой обработке воды (воздействии акустического поля на воду) возникают явления, обусловленные вибрацией металлической поверхности и слоя накипи, при этом, нарушается процесс кристаллизации и снижается прочность связи между образовавшейся накипью и металлом. Благодаря этому в подслое проникает вода, образуется пар, под давлением которого происходит вспучивание и отслаивание накипи. С другой стороны, ультразвук может способствовать агрегированию высокодисперсных частиц карбоната кальция, а в некоторых случаях и оказывать дробящее действие на выделившиеся частицы твердой фазы. В конечном итоге при воздействии ультразвука процесс кристаллизации приводит к образованию шлама [3].

Обработка воды постоянным электрическим полем, заключается в пропускании воды через систему плоских электродов – анодов и катодов, на которые от внешнего источника подается постоянное напряжение [4]. В результате такой обработки вода переходит в метастабильное состояние, характеризующееся аномальными значениями активности электронов и других физико-химических параметров. Прохождение постоянного электрического тока через объем воды сопровождается электрохимическими процессами, в результате которых происходят окислительно-восстановительные реакции, приводящие к деструкции водных загрязнений (в том числе и накипи), коагуляции коллоидов, флокуляции грубодисперсных примесей и их последующей флотации.

При обработке воды с помощью электромагнитных импульсов, в ней образуется углекислота и выделяется небольшое количество углекислого газа. Образуется углекислота является естественным средством, встречающимся в природе и растворяющее известковые отложения. Освобожденная углекислота постепенно устраняет уже имеющиеся в трубопроводе из-

вестковые отложения. Также под воздействием диоксида углерода в обработанной трубе создается защитный тонкий слой. Он препятствует возникновению обычной и язвенной коррозии в металлических трубах.

При электромагнитно-импульсной обработке воды, происходит препятствование образованию накипи, разрушение уже сформированного слоя накипи и образование защитного противокоррозионного слоя.

В настоящее время существуют и другие методы безреагентной обработки воды, применяемые в технологических процессах, с целью ее «умягчения». Эти методы, также, имеют свои преимущества и недостатки. На наш взгляд, наиболее интересными и перспективными для проведения научных исследований являются сочетания нескольких методов (сочетанного воздействия физическими полями) безреагентной обработки воды с целью снижения в ней содержания солей жесткости и/или снижения накипобразования.

### Список литературы

[1] *Неведров А.В., Ушаков Г.В., Трясунов Б.Г., Солодов Г.А.* Защита теплофикационного оборудования от накипи путем обработки воды физическими полями // Вестник Кузбасского государственного технического университета №1, 2011 – 73-76 с. Электронно-библиотечная система «Cyberleninka». URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/zaschita-teploffikatsionnogo-oborudovaniya-ot-nakipi-putem-obrabotki-vody-fizicheskimi-polyami>

[2] *Антонов С.Н.* Аппараты магнитной обработки воды. Проектирование, моделирование и исследование: монография / С.Н. Антонов, А.И. Адошев, И.К. Шарипов, В.Н. Шемякин. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2014 – 220с. [Электронный ресурс]: Электронно-библиотечная система biblioclub. URL: [http://biblioclub.ru/index.php?page=room\\_red&tab=Моя%20библиотека#top\\_position](http://biblioclub.ru/index.php?page=room_red&tab=Моя%20библиотека#top_position)

[3] *Неведров А.В., Солодов Г.А., Папин А.В.* Безреагентная технология водоподготовки для систем теплоснабжения // Вестник Кузбасского государственного технического университета №5, 2013 – 59-63 с. [Электронный ресурс]: Электронно-библиотечная система Cyberleninka». URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/bezreagentnaya-tehnologiya-vodopodgotovki-dlya-sistem-teplosnabzheniya>

[4] *Неведров А.В., Солодов Г.А., Папин А.В.* Комбинированный способ антинакипной водоподготовки для систем теплоснабжения // Вестник Кузбасского государственного технического университета №5, 2013 – 58-59 с. [Электронный ресурс]: Электронно-библиотечная система «Cyberleninka». URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/kombinirovannyu-sposob-antinakipnoy-vodopodgotovki-dlya-sistem-teplosnabzheniya>

**Дудрова Наталья Олеговна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: [natadudrova@gmail.com](mailto:natadudrova@gmail.com)

**Бычков Николай Александрович** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [nikolajbyc@yandex.ru](mailto:nikolajbyc@yandex.ru)

В.В. Шуберт

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ПЛОДООВОЩНЫХ И СТЕЛЛАЖНЫХ КУЛЬТУР НА ЗАКРЫТОМ ГРУНТЕ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Фотосинтез и рост - два основных процесса жизнедеятельности растений, от сбалансированности которых зависит конечный урожай растений. Оба эти процесса в свою очередь находятся в тесной зависимости от интенсивности и спектрального состава света. Известно, что в благоприятных условиях освещения и минерального питания у растений формируется листовая поверхность, фотосинтетическая деятельность которой способна полностью обеспечить ростовую функцию и репродуктивные процессы.

В связи с необходимостью расширения площадей под светокультурой растений значительно увеличивается потребность в источниках излучения, имеющих высокую биологическую эффективность. Для выполнения этой задачи необходим выпуск растениеводческих ламп, имеющих не только высокий КПД, но и благоприятный для растений спектральный состав. В связи с тем, что до настоящего времени в нашей стране нет полноценного растениеводческого источника света, создание такого источника является важной задачей для дальнейшего развития светокультуры растений. В этом плане представляют интерес работы по изучению спектрального состава света, наиболее эффективного для выращивания растений [1].

Одним из наиболее часто используемых источников света являются натриевые лампы высокого давления (НЛВД), сочетающие большую единичную мощность, высокую световую отдачу и длительный срок службы.

Высокоэффективные облучательные установки могут быть реализованы в настоящее время при использовании натриевых ламп высокого давления мощностью 600-1000 Вт на напряжение 220 и 400 В; светильников с электронными пускорегулирующими аппаратами с регулировкой светового потока; светильников с широкой кривой силы света или набора светильников, обеспечивающих «объемное» освещение растений; ламп-светильников или светильников с высокой стабильностью световых параметров в процессе эксплуатации.

Весьма перспективным считается использование в качестве источников освещения в теплицах светодиодных ламп.

Считается, что белый солнечный свет является лучшим освещением, поскольку филогенетическое развитие растений происходило на нем, растения лучше к нему приспособлены. Чем ближе спектральный состав излучателей к естественному спектру, тем выше эффективность фитоценоза [2].

Светодиоды (СД) с белым свечением получают двумя принципиально различающимися способами: либо интегрированием в одной СД - конструкции трех кристаллов, излучающих в синей, зеленой и красной области (RGB-системы), либо использованием кристалла с синим свечением, излучение которого преобразуется в белое с помощью специального люминофора. Широкие возможности вариаций спектра у RGB-системы могут быть широко востребованы именно для целей выращивания растений [3].

Недостатками применения СД в условиях теплиц являются:

1. малая единичная мощность СД (1 – 3 Вт);
2. полное отсутствие ИК- и УФ-излучения у цветных и белых СД, что не позволяет достаточно просто реализовать требования к спектру;
3. достаточно большие габариты и вес световых приборов на основе СД, в сравнении с существующими облучателями с НЛВД;
4. высокая стоимость как самих СД, так и стоимость единицы генерируемого ими светового потока.

Однако у светодиодного освещения есть и неоспоримые достоинства, такие как:

1. достаточно высокая световая отдача (более 100 лм/Вт для белых СД) с перспективой дальнейшего увеличения;
2. высокий срок службы (до 30 тыс. час.) с перспективой дальнейшего увеличения;
3. возможность получения излучения любого спектрального состава;
4. высокий к.п.д. и коэффициент использования светового потока облучателей на основе СД;
5. возможность размещения облучателей со СД непосредственно над растением или непосредственно в ценозе;
6. возможность создания облучателей с напряжением питания до 40 В, абсолютно безопасным для человека;
7. высокая степень экологичности СД.

Остановимся подробнее на экологическом аспекте использования НЛВД и светодиодных ламп.

В большинстве натриевых ламп высокого давления в качестве наполнителя применяется амальгама натрия (соединение натрия с ртутью) первого класса опасности, следовательно, хранить изделия с поврежденными колбами в неподготовленных для этого помещениях запрещено. Особенно, если речь идет о количестве опасного отхода в промышленных масштабах. Заниматься хранением, транспортировкой и дальнейшей утилизацией должны организации, имеющие соответствующую лицензию.

Допускается временное хранение натриевых ламп. Поэтому для сбора и накопления отводится закрытый склад, и подготавливаются герметичные емкости. Сберегать опасные отходы следует до момента транспортировки с целью их дальнейшей утилизации.

Сам же процесс ликвидации ртутьсодержащих ламп осуществляется разными путями: демеркуризация, амальгамирование, высокотемпературный обжиг, термический метод утилизации, вибро-пневматическая технология.

В то же время, светодиодные светильники обладают высокой экономичностью энергопотребления и являются экологически чистыми, не требуют специальных условий по обслуживанию и утилизации.

Исходя из проведенного сравнительного анализа НЛВД и СД, можно сделать вывод, что, несмотря на масштабность использования натриевых ламп и их технико-экономические характеристики, с экологической точки зрения на первый план должны выйти светодиодные источники освещения. Особенно важным фактором использования СД в теплицах для выращивания сельскохозяйственных культур является то, что в случае поломки и разгерметизации колбы газовой лампы в воздух теплицы попадут пары особо опасного вещества, что сделает выращиваемые культуры непригодными к употреблению, а также нанесет экономический ущерб.

### Список литературы

[1] *Протасова Н. Н.* Физиология растений. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений // Учебник. – 1978. – Т.34. – №.4. С. 812-822

[2] *Тихомиров А. А.* Светокультура растений в теплицах / А. А. Тихомиров, В. П. Шарупич, Г. М. Лисовский [Электронный ресурс]: статья в интернете. – Режим доступа: <http://www.greenhouses.ru/Svetokultura>

[3] *Прикупец Л.Б.* Светодиодные облучатели и перспективы их применения в теплицах /Л. Б. Прикупец, С. И. Вавилова [Электронный ресурс]: статья в интернете. – Режим доступа: <http://promtehnika.com.ua/archive/svetodiодnye-obluchатели.pdf>

**Шуберт Валерия Владимировна** – заведующий лабораторией КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [shubert.valeria@yandex.ru](mailto:shubert.valeria@yandex.ru)

А.Г. Егорова, Ю.М. Жукова

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Наиболее эффективными, рациональными и экологичными могут стать способы очистки, основанные на сочетании применения энергии электромагнитных излучений. Ведутся разработки новых высокоэффективных технологий очистки сточных вод, направленных на минимизацию антропогенного воздействия на гидросферу, что является важной природоохранной задачей.

Электромагнитные волны могут вызывать деформацию водородных связей, в том числе изменение длины О-Н или углов Н-О-Н. При таких изменениях дипольный момент растет, что приводит к уширению и сдвигу в низкочастотную область полос поглощения в колебательных спектрах воды. Межмолекулярные связи еще менее устойчивы и сравнительно легко разрушаются от коротковолновых электромагнитных воздействий. Атом водорода, расположенный между двумя ближайшими атомами кислорода, может находиться в одном из двух состояний, вблизи одного либо вблизи другого атома кислорода, одно из которых является устойчивым.

При воздействии электромагнитного излучения с водой происходит накопление энергии в кластерной структуре до некоторого критического значения, затем происходит разрыв связей как между кластерами, так и других, происходит лавинообразное освобождение энергии, которая может затем трансформироваться в другие типы.

Обзор данных по исследованию структуры воды, подвергнутой воздействию различных внешних силовых полей, в том числе СВЧ, проведен в работе [1]. Воздействие СВЧ-излучения на жидкую воду приводит к образованию метастабильных кластеров  $(\text{H}_2\text{O})_n$ , что придает ей свойства твердого тела.

Молекулы воды, их ассоциаты, гидратированные ионы совершают непрерывные колебательные движения, которым соответствует определенный колебательный уровень. При воздействии на эту систему полем оптимальной частоты возможен резонанс с определенной группой молекул и ассоциатов с возникновением квантов энергии, способных деформировать связи, изменять структурную характеристику системы. Одним из наиболее информативных и простых в техническом исполнении методов обнаружения изменения структурных свойств воды являются ИК- и УФ-спектроскопические методы исследования [2].

Авторами [3] изучалось влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства дистиллированной воды. Показано, что воздействие приводит к увеличению ее электропроводности, водо-

родного показателя (рН) и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), при этом изменение свойств воды зависело от частоты поля и времени облучения.

Известно, что электромагнитные излучения всех видов в зависимости от длины волны и дозы опасны для окружающей среды и человека [4,5,7]. В некоторых отраслях промышленности, где на протяжении всей смены работы персонала воздействуют электромагнитные поля, уже разрабатывают защитные технологии [8], ведется производственный контроль на соответствие условий труда установленным нормам и правилам [9]. По данным [8], воздействие электромагнитных полей связано с повышенным риском возникновения заболеваний крои и головного мозга. Кроме того, эксперты констатируют и такие факты что, например, воздействие электромагнитных полей связано с риском возникновения других заболеваний: глиома, менингиома и лейкоз.

В связи с этим предлагается [8] для оценки воздействия электромагнитных полей на персонал ввести показатели дозы как электрического, так и магнитного полей и создать эффективные методы и средства его защиты, такие как устройства контроля и сигнализации, датчики и приборы индивидуального учета дозы воздействия электромагнитных полей. И в случае освоения технологий с применением ионизирующих и неионизирующих излучений для очистки жидких сред разумеется, финансовая проблема. Но без ее решения сложно реализовать в промышленность технологии безреагентной очистки СВ, основанные на электромагнитных излучениях [4-6].

При разработке целевой программы по внедрению в отечественную практику безреагентных методов очистки загрязнений вод, безопасные для персонала установки и технологии могут быть созданные уже в процессе ее реализации (5-7 лет). Основанием для такого заключения служит, например, технические решения по созданию внедрению в быт сверхвысокочастотных (СВЧ) полей, безопасных и удобных для пользователей, поскольку микроволновая печь стоит на кухонном столе практически в каждой семье или офисе. Поэтому промышленное освоение микроволновой технологии очистки СВ и ее осадков может быть реализована уже в ближайшие годы, при заинтересованном разрешении всех вышеприведенных проблем [10].

Но в то же время в настоящее время для очистки сточных вод от примесей тяжелых металлов практически отсутствуют альтернативы традиционным химическим технологиям, требующим применения больших объемов разнообразных химических реагентов. При этом процесс утилизации продуктов химической очистки сточных вод остается практически открытым. Поэтому исследования в области очистки сточных вод различными видами излучения очень необходимо [11].

### Список литературы

- [1] *Липсон А.Г., Кузнецов В.А.* Образование долгоживущих ассоциированных структур жидкой воды во внешних силовых полях // *ЖТФ.* – 2012.- Т.66. – В.6. – 26-36 с.
- [2] *Мышкин В.Ф., Власов В.А.* Структура и свойства воды, облученной СВЧ излучением / В.Ф. Мышкин – Томск: Томский национальный исследовательский политехнический университет, КубГАУ, №81. – 2012.
- [3] *Бритова, А.А.* Активация воды лазерным излучением, магнитным полем и их сочетанием / А.А. Бритова, И.В. Адамко, В.Л. Бачурина. М: Вестник НГУ. – 2011. – 11-14 с.
- [4] *Алакин В.М., Ершов А.В., Жукова Ю.М.* и др. Особенности применения отпаянных излучателей для обеззараживания различных сред. *Наукоемкие технологии*, 2011. – 39 с.
- [5] *Кузьмин Г.В., Зейналова А.А., Коржавый А.П.* и др. Применение ионизирующих и неионизирующих излучений в агробιοтехнологиях / Под общ. ред. Г.В. Козьмина. Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2011. – 191 с.
- [6] *Коржавый А.П., Капустин В.И., Козьмин Г.В.* Методы экспериментальной физики в избранных технологиях защиты природы и человека / Под. ред. А.П. Коржавого. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. – 352 с.
- [7] *Горбачев В.В., Марков Г.П.* Основы электромагнитной экологии / Под ред. А.П. Коржавого. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. – 224 с.
- [8] *Белинский С.О.* Снижение вредного воздействия электромагнитных полей на персонал электрифицированного транспорта / *Безопасность труда в промышленности*. 2014. – 49 с.
- [9] СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2011. – 38 с.
- [10] *Жукова Ю.М., Коржавый А.П., Никулина С.Н.* Проблемы реализации в практику безреагентных способов очистки загрязненных вод // *Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 25–27 ноября 2014 г. Т. 2.* – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 241-244 с.
- [11] *Sheinkman L.E.* , Removal of Heavy Metals from Industrial Waste Water Using the Laser Radiation / L.E. Sheinkman. – Tula State University: *Ecology and Industry of Russia*, 2015. – 26–30 p.

**Егорова Анастасия Григорьевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: stasyuyl@yandex.ru

**Жукова Юлия Михайловна** – канд. техн. наук, зам. зав. каф. по научной работе КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dazhf1@mail.ru

## **СЕКЦИЯ 7.**

# **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И КОМПЛЕКСАХ**

С.А. Карпухин, С.А. Плахов

## ГИБРИДНЫЕ ТОРМОЗНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Тормозная система автомобиля является одной из самых важных систем, обеспечивающих безопасность движения. Автомобили с большой энергонагруженностью тормозной системы сталкиваются с проблемой обеспечения достаточной интенсивности торможения при сохранении усилия на педали тормоза в допустимых пределах. Для этого используют разнообразные конструкции гидровакуумных усилителей, регуляторы давления и т.п. [1].

Решение проблемы увеличения интенсивности торможения автомобиля заключается в распределении усилий торможения между двумя системами, одна из которых управляется человеком, а вторая – исключительно электроникой. Подобное решение представляют собой гибридные тормозные механизмы со специальной выделенной гидравлической магистралью.

Гибридные тормозные механизмы, конструктивно совмещающие в себе дисковый тормоз, выполняющий основную часть работы тормозного механизма, и барабанный тормоз, выполняющий функцию стояночного тормоза и вспомогательной подсистемы.

Составные элементы системы представлены на рисунке 1.

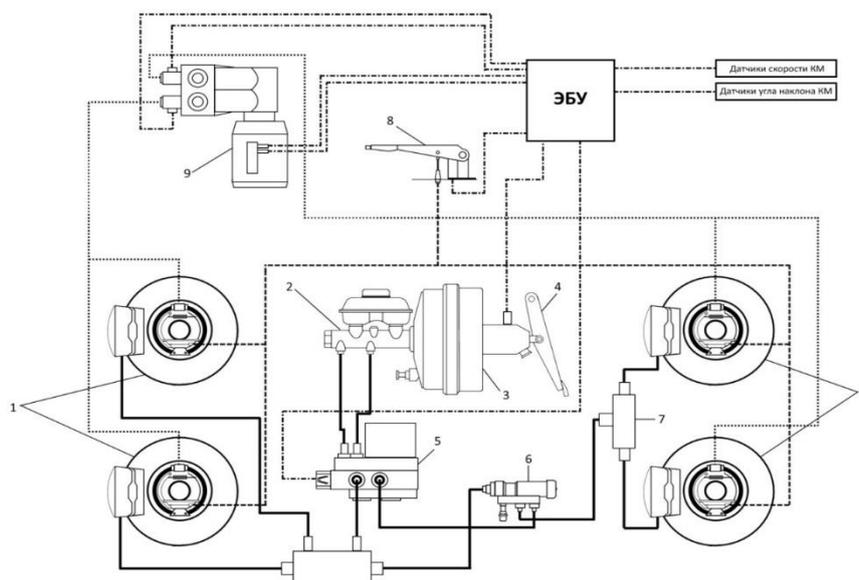


Рис. 1. Структурная схема гибридной тормозной системы:

- 1 – тормозные механизмы; 2 – главный тормозной цилиндр;
- 3 – гидровакуумный усилитель; 4 – педаль тормоза; 5 – модулятор антиблокировочной системы; 6 – распределитель тормозных усилий; 7 – тройник;
- 8 – рычаг стояночного тормоза; 9 – насос выделенной гидравлической системы

Гидроцилиндр дискового тормоза подключен с помощью гидравлической магистрали к тормозным цилиндрам, соединенным с гидровакуумным усилителем тормозов и модулятором давления в магистрали антиблокировочной системы (АБС). Барабанные тормозные механизмы выполняют роль стояночного тормоза при остановке автомобиля, а также обеспечивают возможность увеличения интенсивности торможения всей системы в целом за счет независимой работы отдельно от дисковых тормозных механизмов. Для этого барабанные тормозные механизмы подключаются к специальной гидравлической магистрали с электрическим насосом под управлением электронного блока управления (ЭБУ) автомобиля. Также барабанные механизмы имеют в своей конструкции тросовый привод стояночного тормоза.

Согласно описанной конструкции тормозных механизмов можно выделить несколько режимов работы, реализуемых через разные элементы системы и их совокупности.

**Рабочий режим тормозных механизмов при движении автомобиля без экстренного торможения.** При работе тормозной системы в данном режиме задействуется только основные дисковые элементы тормозных механизмов.

Работа системы в этом режиме заключается в следующем.

При нажатии педали тормоза усилие через толкатель передается к следящему клапану вакуумного усилителя. Разница давлений действует на диафрагму и, преодолевая усилие пружины, перемещает шток поршня главного тормозного цилиндра. От главных тормозных цилиндров давление жидкости через трубопроводы передается на цилиндры дисковых тормозных механизмов. Под действием этого давления шток цилиндра выдвигается, и тормозные колодки прижимаются к диску. Возникает сила трения, момент которой и создает тормозной момент на колесе [3].

В данном режиме реализуется работа модулятора давления системы АБС, который создает искусственное колебание давления в гидравлической магистрали тормозов для предотвращения блокировки колодками тормозного диска.

**Работа системы в режиме стояночного тормоза.** Этот режим реализуется при полной остановке автомобиля и необходим для удерживания его в неподвижном состоянии на время стоянки.

Данный режим реализуется следующим образом. После полной остановки автомобиля водитель оттягивает назад рычаг стояночного тормоза, устанавливая его на зубчатый стопор. Трос натягивается и передает усилие к тормозным механизмам. Под действием этого усилия рычаг привода колодок прижимает их к цилиндрической поверхности. При этом происходит затормаживание диска, а вместе с ним и закрепленного на нем колеса [2].

**Работа системы при спуске с уклона с использованием вспомогательной тормозной системы.** В этом режиме используются как дисковые,

так и барабанные тормозные механизмы. Роль вспомогательной тормозной системы здесь играют барабанные тормозные механизмы.

При использовании барабанного механизма в режиме вспомогательной тормозной системы управление осуществляется посредством ЭБУ и набора датчиков. По показаниям датчика уклона дороги ЭБУ автомобиля нужным образом задействует насос барабанных тормозных механизмов. Рабочая тормозная система остается незадействованной для возможного экстренного торможения и обеспечивается большой комфорт управления автомобилем. Путем управления насосом выделенной тормозной магистрали можно в больших пределах изменять величину замедления в зависимости от величины уклона дороги так, чтобы она наиболее полно соответствовала условиям движения.

**Работа системы при экстренном торможении.** В этом режиме работы также задействуются обе тормозные системы. Экстренное торможение осуществляется в опасных ситуациях для избежание столкновения с препятствием или избежание ДТП. При экстренном торможении замедление автомобиля принимает максимальные значения.

В этом режиме основная работа выполняется дисковыми тормозными механизмами. Для избежание блокировки дисков используется система АБС. Однако при недостаточной эффективности торможения ЭБУ автомобиля может дополнительно включить насос выделенной гидравлической магистрали барабанных тормозов, тем самым задействуя их в необходимый момент.

Применение данной системы с обеспечением различных условий функционирования позволит снизить энергонагруженность тормозной системы при обеспечении стабильности тормозных моментов на колесах автомобиля вне зависимости от условий движения.

### Список литературы

[1] Автомобили: теория и конструкция автомобиля и двигателя: учебник / В.К. Вахламов, М.Г. Шатров, А.А. Юрчевский. – М.: Академия, 2010. – 816с.

[2] *Вахламов В.К.* Автомобили: конструкция и элементы расчета: учебник / В.К. Вахламов. – М.: Академия, 2008. – 400с.

[3] *Нарбут А.Н.* Автомобили: рабочие процессы и расчет механизмов и систем: учебник / А.Н. Нарбут. – М.: «Академия», 2008. – 256 с.

**Карпухин Сергей Андреевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: serg.carpuxin@yandex.ru

**Плахов Сергей Александрович** – канд. техн. наук, старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. E-mail: sa.plahov@yandex.ru

С.В. Подлесных

## **К ВОПРОСУ ОБ УСТАНОВКЕ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ НА АВТОМОБИЛЬ LADA PRIORA**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Самым важным узлом автомобиля, безусловно, является его силовая установка. Она с помощью трансмиссии приводит во вращательное движение колеса и, как следствие, сам автомобиль.

На большинстве автомобилей в качестве силовых установок используются двигатели внутреннего сгорания, которые работают на бензиновом или дизельном виде топлива. Такой тип силовых установок получил широкое распространение из-за относительно простого принципа функционирования, высокой технологичности производства и ремонтпригодности. Однако, при всем этом, имеются недостатки. К ним можно отнести [1]:

1. Сравнительно высокую шумность;
2. Низкий КПД;
3. Высокая степень загрязнения окружающей среды;
4. Обязательное наличие коробки переключения передач;
5. Отсутствие возможности рекуперации энергии.
6. Высокая стоимость топлива.

Частично вышеуказанные недостатки можно исправить. Например, для экономии топлива в городском режиме движения можно использовать систему старт - стоп, использовать вместо обычных коробок переключения передач бесступенчатые, тепловую энергию рекуперировать и использовать для разгона. Такие пути решения проблемы заметно усложняют конструкцию и увеличивают цену.

Самым перспективным решением данной проблемы является использование гибридной силовой установки (ГСУ), позволяющей достичь требуемого улучшения экологических и экономических показателей за счет сочетания преимуществ основного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и тягового электродвигателя (ТЭД). Это достигается путем разработки системы и алгоритма их совместной работы, основанных на движении автомобиля в режиме ускорения, то есть, в условиях, приближенных к городскому циклу [2].

Можно выделить три основных варианта компоновки ГСУ. В первом из них ДВС служит для привода ТЭД, который в свою очередь передает вращательное движение на колеса. Во втором ДВС и ТЭД работают параллельно. В таком случае вращательное движение от ТЭД возможно передавать к колесам как передней оси, так и задней. Для автомобиля Lada Priora наиболее оптимальным вариантом является передача вращательного движения на задние колеса. Такая силовая установка называется параллельной (рис.1).

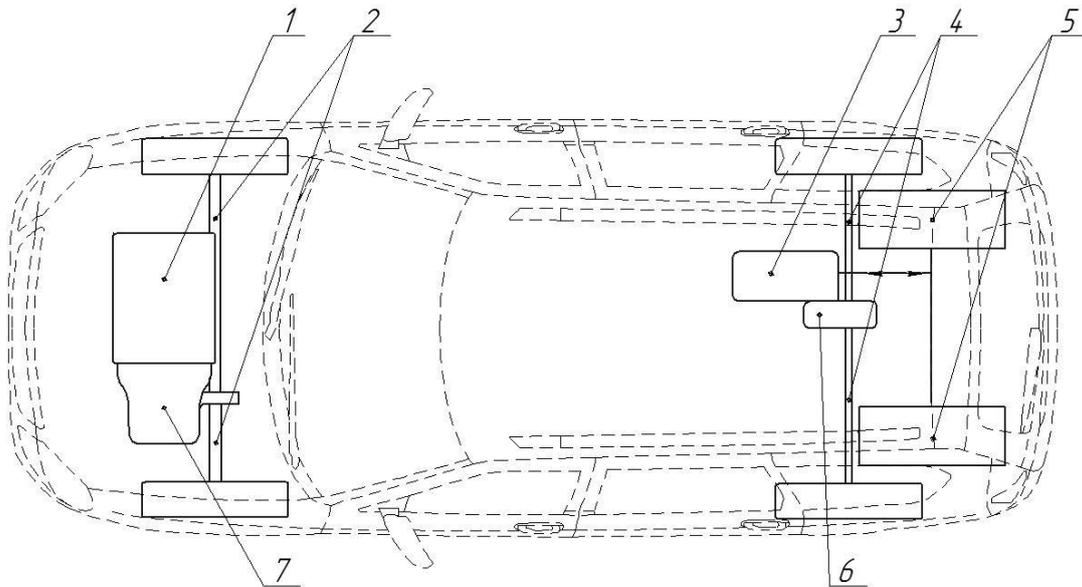


Рис. 1. Схема параллельной гибридной силовой установки

1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – привода передних колес; 3 – тяговый электродвигатель; 4 – привода задних колес; 5 – аккумуляторные батареи; 6 – дифференциал задней оси; 7 – коробка переключения передач. Передние колеса приводятся в движения от двигателя внутреннего сгорания 1 через коробку переключения передач 7 и привода 2. Задние колеса приводятся в движение от тягового электродвигателя 3, через дифференциал 6 и привода задних колес 4. Дифференциал представляет собой конструкцию, размещенную в отдельном корпусе и аналогичную дифференциалу на передней оси, расположенному в корпусе КПП. ТЭД получает питание от аккумуляторных батарей, расположенных в нишах в багажнике.

Всего можно выделить три режима работы ГСУ в зависимости от режима движения автомобиля. При разгоне бензиновый двигатель работает в паре с электродвигателем, что позволяет компенсировать разгрузку передних колес, увеличить интенсивность ускорения и снизить расход топлива. Так же, такой режим работы обеспечивает автомобилю полный привод, что придает дополнительную устойчивость при разгоне в сложных дорожных условиях. Можно выделить подрежим, который будет использоваться в пробках для перемещения на небольшие расстояния. В таком случае будет работать только ТЭД.

Во втором режиме работы, при установившейся скорости более 50 км/ч, или ускорении после достижения этой скорости ТЭД отключается и ДВС работает в одиночном режиме. В это же время ТЭД работает в режиме генератора, заряжая аккумуляторные батареи.

Третий режим работы используется при резком и экстренном торможении. В дополнение к штатной тормозной системе, ТЭД работает в реверсивном режиме, заметно увеличивая интенсивность торможения и снижая тормозной путь.

Таким образом, применение параллельного вида ГСУ, с использованием ТЭД для привода задних колес является наиболее оптимальным вариантом как для решения проблем экономичности, так и для решения проблем трогания с места в сложных дорожных условиях.

### **Список литературы**

[1] Богатырев А.В. Автомобили / А. В. Богатырев – М.: Колос, 2004. – 496 с.

[2] Auto-wiki. Гибридная силовая установка [Электронный ресурс]: <http://auto-wiki.ru/gibridnaya-silovaya-ustanovka/> (дата обращения 19.03.2017).

**Подлесных Сергей Владимирович** - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [podlesnykh40@yandex.ru](mailto:podlesnykh40@yandex.ru)

А.А. Паршукова

## **К ВОПРОСУ ОБ УСТАНОВКЕ РАВНОДЛИННЫХ ПРИВОДОВ НА ПЕРЕДНЕПРИВОДНЫЙ АВТОМОБИЛЬ ЛАДА КАЛИНА**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Современный автомобиль включает в себя множество систем и узлов, отвечающих за сохранение управляемости автомобиля при различных условиях эксплуатации. Их общий принцип действия заключается в том, чтобы минимизировать последствия ошибки водителя или непредвиденных ситуаций во время движения автомобиля.

На автомобиле Лада Калина присутствуют такие системы, как антиблокировочная система и противобуксовочная система. Они позволяют сохранить стабильность движения транспортного средства при торможении и разгоне соответственно. Однако, в силу особенностей конструкции, при резком наборе скорости автомобиль может увести сторону. Это происходит из-за неравных длин левого и правого приводных валов.

Дело в том, что на автомобиле двигатель расположен поперечно. При таком расположении двигателя дифференциал смещен из средней плоскости автомобиля к установленной сбоку коробке передач. Поэтому полуоси передних колес у данного автомобиля имеют различную длину. При невозмущенном движении по прямой они лежат почти горизонтально. Однако, при резком разгоне на низких передачах передняя часть автомобиля может приподняться, и более короткая левая полуось наклонится к оси колеса под большим углом, чем правая. В результате появляются моменты относительно шкворневых осей, которые, вследствие вращения полуосей, стремятся повернуть оба колеса в направлении их схождения [1]. Так как наклон левой полуоси несколько больше наклона правой, момент на левом колесе может быть несколько большим, что приводит к уводу автомобиля вправо. В случае, если педаль акселератора будет отпущена, возникнет тормозной момент, опускающий переднюю часть автомобиля, но это не всегда может предотвратить склонность к повороту колес в противоположные стороны.

Для решения данной проблемы предлагается оснастить автомобиль промежуточным валом, который позволит выполнить полуоси одинаковыми по длине, что дает возможность исключить все вышеперечисленные недостатки. Промежуточный вал устанавливается вместо длинного (правого) привода. Исключение из конструкции длинного привода дает:

- 1) Стабильное управление автомобилем при динамичном разгоне.
- 2) Отсутствие уводов в сторону.

3) Устранение вибраций, возникающих вследствие изгибающих моментов при работе длинного вала привода и геометрической погрешности изготовления.

4) Стабильная главная передача крутящего момента.

5) Долговечная работа при различных условиях эксплуатации [2].

Схема установки промежуточного вала представлена на рис. 1.

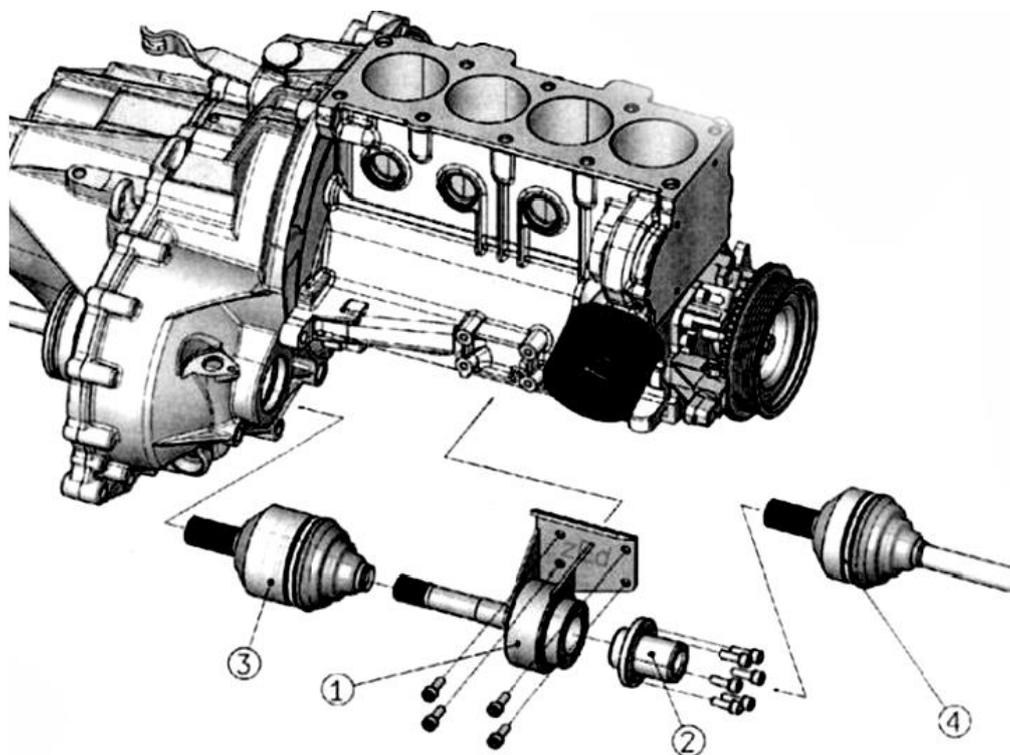


Рис. 1. Схема установки промежуточного вала на автомобиль Лада Калина  
1 - вал с корпусом подшипника в сборе; 2 - шлицевая муфта;  
3 - внутренний шарнир; 4 – внешний шарнир

Таким образом, заменяя длинный правый вал промежуточным и коротким валами, выравнивается длина приводов и их угол, устраняется лишняя нагрузка и уводы в сторону, увеличивается ресурс шарниров равных угловых скоростей. Все это повышает стабильность движения транспортного средства и позволяет водителю чувствовать себя более комфортно.

### Список литературы

[1] DRIVE2.RU Сообщество машин и людей. Равнодлинные привода [Электронный ресурс]: <https://www.drive2.ru/l/2679783/?page=0#comments> (дата обращения 25.03.2017).

[2] Turbo-vaz. Motorcraft. [Электронный ресурс]: <http://www.turbo-vaz.ru/ravnoprivodavto> (дата обращения 25.03.2017).

**Паршукова Алена Александровна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [alenparshukova@yandex.ru](mailto:alenparshukova@yandex.ru)

С.А. Селькин

## **К ВОПРОСУ ОБ УСТАНОВКЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОДВЕСКИ НА АВТОМОБИЛЬ VOLKSWAGEN GOLF 7**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Одним из наиболее важных узлов современного автомобиля является подвеска. Именно она отвечает за устойчивость автомобиля в поворотах и постоянство сцепления колес с дорожным покрытием.

В подвеске обычной конструкции используются упругие элементы: пружины, рессоры, торсионы. Главным недостатком является ее полная пассивность, которая не позволяет управлять жесткостью подвески отдельных колес в повороте, а также при наличии глубоких дефектов дорожного покрытия. Такая подвеска может провоцировать «приседание» и подскок автомобиля в ямах или выступах дорожного полотна.

Существуют также активные подвески, которые способны менять собственную упругость и жесткость, а также гасить колебания. Но и данный вид подвески имеет определенные недостатки: медленная скорость реагирования на команды управляющего устройства, потребление значительного количества энергии, увеличенный расход топлива, снижение полезной мощности двигателя [1].

Решением подобных проблем является установка на автомобиле электромагнитной подвески, в конструкцию которой входят как пассивные, так и управляемые электромагниты. В случае прекращения подачи электроэнергии в систему подвески, она способна переключиться в механический режим работы посредством системы электромагнитов, то есть становится обычной механической подвеской. При всем этом электромагнитные подвески очень экономичны с точки зрения потребления электроэнергии. Такая экономичность становится возможной из-за того, что на обратном ходе электромагнита происходит выработка электроэнергии [2].

Существует три вида электромагнитных подвесок следующих производителей:

1. SKF,
2. Delphi,
3. Bose.

**1. Электромагнитная подвеска SKF.** Электромагнитные подвески SKF были разработаны в Швеции, они просты по конструкции, но в тоже время отличаются надежностью. Стойка SKF – это капсула, состоящая из двух электромагнитов, упругого элемента – пружины, которая обеспечивает подвижность даже, если бортовой компьютер перестанет подавать сигналы (рис. 1).



Рис. 1. Электромагнитная стойка компании SKF

Преимущества подвесок SKF:

1. Отсутствует эффект «проседания» автомобиля, благодаря тому, что в неактивном состоянии аккумулятор продолжает питать элементы подвески.

2. При отсутствии команд от бортового компьютера подвеска сохраняет подвижность благодаря встроенным пружинам.

**2. Электромагнитная подвеска Delphi.** Электромагнитная подвеска, разработанная компанией Delphi, представляет собой однотрубный амортизатор, заполненный магнито-реологическим составом, жидкостью с включением магнитных частиц, размером от трех до десяти микрон (рис.2). Специальное покрытие препятствует их слипанию, а количество равно одной третьей от требуемого объема жидкости.

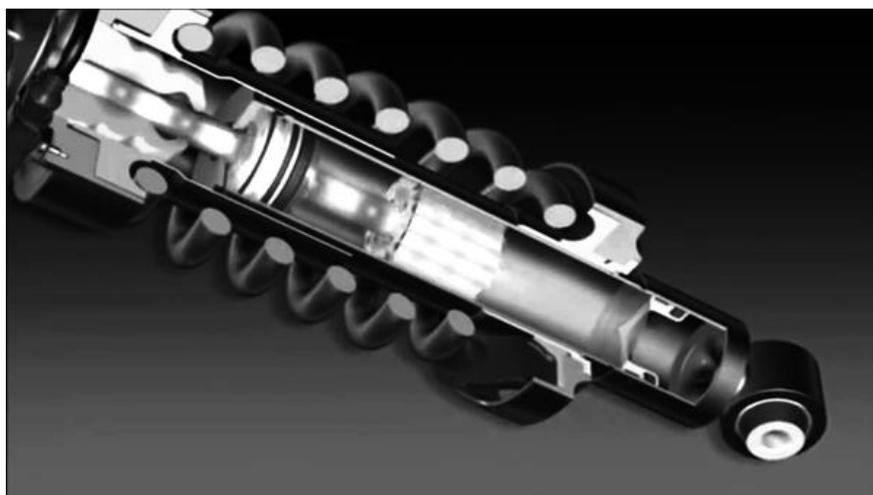


Рис. 2. Электромагнитная стойка компании Delphi

Скорость реакции такой системы составляет 1 мс, что в десять раз меньше, чем в системах с электромагнитными клапанами. Потребляемая мощность составляет порядка 20 Вт. При неисправности электромагнита

или в отсутствие управляющих сигналов, подвеска компании Delphi работает в режиме обычного гидравлического амортизатора.

**3. Электромагнитная подвеска Bose.** Амортизационный узел позволил исключить из подвески упругий элемент, жидкостный амортизатор и поперечный стабилизатор (рис.3).



Рис. 3. Электромагнитная подвеска Bose

Подвеска профессора Боуза работает на основе линейного электродвигателя, шток которого играет роль якоря. Якорь совершает возвратно-поступательные движения возле статора, расположенного в корпусе амортизатора (рис.4).

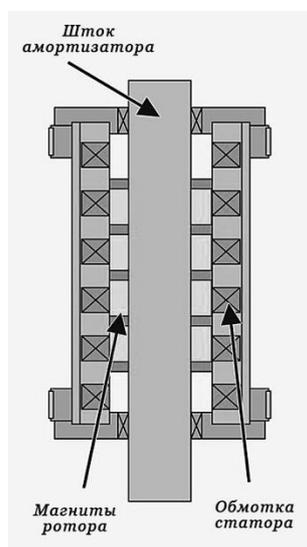


Рис. 4. Схема работы электромагнитного амортизатора Bose

Это дает возможность гасить все колебания, которые могут возникнуть на неровных участках дороги [3].

На сегодняшний день лучшим решением является подвеска компании Bose, но из-за сложного механизма управления необходимо специальное



Основными достоинствами применения электромагнитной подвески являются:

- способность автомобиля выдерживать постоянный клиренс независимо от нагрузки;
- отсутствие крена при разгоне, торможении, а также при движении на вираже;
- повышается управляемость и комфорт при движении;
- высокая скорость реагирования;
- невысокая потребляемая мощность;

Установка данной системы на автомобиль позволит владельцам более комфортно чувствовать себя при движении в повороте, а также на ямах или выступах дорожного покрытия.

### Список литературы

[1] Википедия. Подвеска автомобиля [Электронный ресурс]: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0\\_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8F/](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8F/) (дата обращения 21.03.2017).

[2] DRIVE2.RU Сообщество машин и людей. Электромагнитная подвеска [Электронный ресурс]: <https://www.drive2.ru/b/3243911/> (дата обращения 21.03.2017).

[3] Автомобили и люди. Электроподвеска автомобиля [Электронный ресурс]: <http://auto-ru.ru/bose-elektromagnitnaya-podveska.html> (дата обращения 21.03.2017).

[4] Устройство автомобиля. Магнитная подвеска [Электронный ресурс]: <http://znanieavto.ru/hodovaya/magnitnaya-podveska-avtomobilya.html> (дата обращения 21.03.2017).

**Селькин Сергей Алексеевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: s.a.selkin@yandex.ru

М.В. Крылов

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗГОНА АВТОМОБИЛЯ С АВТОМАТИЧЕСКИ ПОДКЛЮЧАЕМЫМ ПОЛНЫМ ПРИВОДОМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Основным методом решения задачи являются аналитическое решение исходных дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих движение масс в математической модели (дифференциальные) и перераспределение нормальных реакций по колесам автомобиля (алгебраические). Структурные изменения математической модели связаны только с варьированием дифференциальными уравнениями и их решениями.

**Математическая модель разгона автомобиля.** При разгоне автомобиля его отдельные части, вращающиеся детали трансмиссии запасаются кинетической энергией, которая остается постоянной при равномерном движении и расходуется при подтормаживании или полной остановке в тормозной системе, при преодолении подъемов на неровной дороге. Источником потенциальной энергии, которая создает силу тяги на ведущих колесах для разгона автомобиля, служит двигательная установка (ДВС).

Учет изменения нормальных реакций по осям и, как следствие этого, более точное определение предельного текущего момента, при котором начинается пробуксовка колес, связано с моделью, представленной на рис. 1 [1].

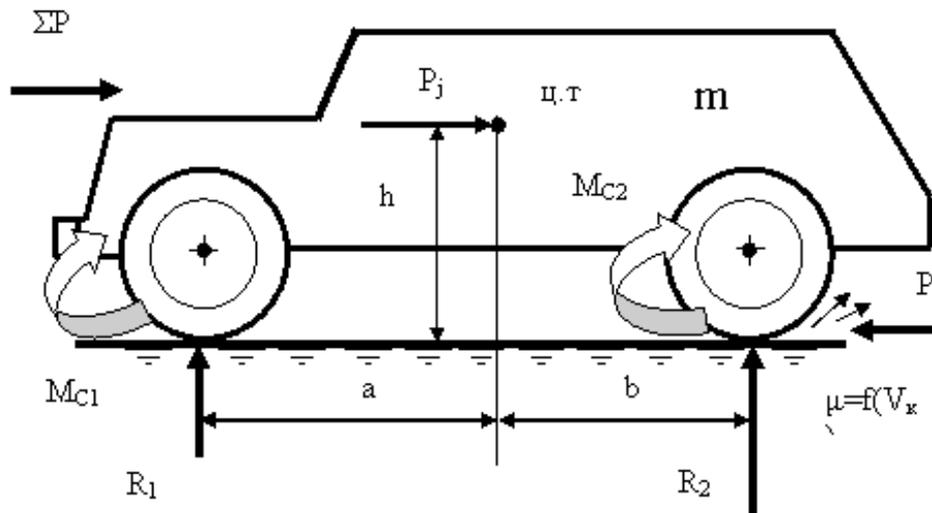


Рис. 1. Модель буксующего автомобиля при разгоне

Основные параметры этой модели: высота центра тяжести, расстояние от передней и задней осей ( $a$ ,  $b$ ) - считаются известными. Также задается закон изменения коэффициентов сцепления  $\mu$  от скорости, который принимается линейным [1]:

$$\mu = \mu_0 + \mu_v \cdot V_k, \quad (1)$$

где  $\mu_0$ - коэффициент трения покоя;  $\mu_v$ - угловой коэффициент;

$V_k$ – скорость пробуксовывания колеса. В структуру математической модели введем процесс буксования ведомых и ведущих частей фрикционной муфты подключения полного привода.

Согласно уравнению Ньютона запишем уравнение движения масс [1]:

$$\ddot{\phi}_\partial \cdot I_\partial = M_e - (M_\phi + M'_\phi \cdot t), \quad (2)$$

Первая фаза процесса буксования дисков муфты ограничена неравенством  $M_\phi \leq M_c$ .

Для левой и правой частей имеем:

$$I_\partial \cdot \ddot{\phi}_\partial = M_e - (M_{\phi 0} + M'_\phi \cdot t), \quad (3)$$

$$(I_k + I_a) \cdot \ddot{\phi}_a = M_{\phi 0} + M'_\phi \cdot t - M_c. \quad (4)$$

Решение системы уравнений (3 и 4) приводит к определению угловых скоростей движения маховой массы двигателя и объединенной маховой массой корпуса и всех колес ( $I_k + I_a$ ).

$$\dot{\phi}_\partial = \dot{\phi}_\partial^0 + \frac{(M_e \cdot M_{\phi 0}) \cdot t}{I_\partial} - \frac{M'_\phi \cdot t^2}{2 \cdot I_\partial}, \quad (5)$$

$$\dot{\phi}_a = \frac{(M_\phi^0 - M_c) \cdot t}{I_\partial + I_a} + \frac{M'_\phi \cdot t^2}{2 \cdot (I_\partial + I_a)}, \quad (6)$$

Для отыскания величин угла поворота объединенной массы ( $I_k + I_a$ ) с целью определения пути, проходимым автомобилем за время буксования проинтегрируем еще раз уравнение (6) системы:

$$\phi_a = \phi_a^0 + \frac{(M_\phi^0 - M_c) \cdot t^2}{2 \cdot (I_\partial + I_a)} + \frac{M'_\phi \cdot t^3}{6 \cdot (I_\partial + I_a)}, \quad (7)$$

Или для определения текущего пути  $s$ :

$$s = R_k \cdot \phi_a. \quad (8)$$

Принимая во внимание расстояние между осями, высоту центра тяжести при заданной полной массе автомобиля, а также, выполняя условие по движению последнего на горизонтальной поверхности с линейным ускорением  $j_a$  составим два уравнения[1]:

$$\Sigma F_y = 0; \quad R_1 + R_2 = G_a, \quad (9)$$

$$\Sigma M_\partial = 0; \quad -R_1(a + b) + G_a \cdot b - j_a \cdot m_a \cdot h = 0. \quad (10)$$

Решая систему уравнений 9 и 10 относительно нормальной реакции  $R_2$ , получим выражение:

$$R_2 = \frac{(a \cdot G_a + j_a \cdot m_a \cdot h)}{a + b} \quad (11)$$

**Результаты моделирования.** К общим входным величинам относятся: масса автомобиля  $m_a = 1350$  кг; начальный коэффициент сопротивления шин  $f_0 = 0,012$ ; радиус качения  $r_k = 0,28$ ; коэффициент воздушного сопротивления  $W = 0,22$ ; максимальное поперечное сечение корпуса автомобиля  $S_w = 3,3$  м.

Кроме того, для аналитического определения изменения мощности и момента двигателя в зависимости от оборотов были заданы следующие величины: эффективная мощность двигателя  $N_v = 58,5$  кВт, номинальная частота вращения  $n_n = 5000$  об/мин, частота вращения при максимальном крутящем моменте  $n_m = 4000$  об/мин.

Изменение коэффициента сцепления задается двумя величинами: коэффициентом покоя ( $\mu = 0,9 \dots 0,7$ ) и процентом падения при пробуксовке колеса ( $\Delta\mu = 0,4$  или 40 %). Принятие величины  $\mu$  и  $\Delta\mu$  позволяет записать линейный закон изменения этой величины, отнесенный к выходному валу двигателя. Предварительные расчеты показали, что заметное изменение в эксплуатационных параметрах: времени, пути, скорости разгона с пробуксовкой колес и без пробуксовки наиболее очевидно для первой передачи. Подробно исследуем влияние буксования на выходные параметры для этой передачи [2].

После проведенных расчетов были составлены графики циклов разгона автомобиля с подключенным полным приводом и с буксованием ведущей оси [3].

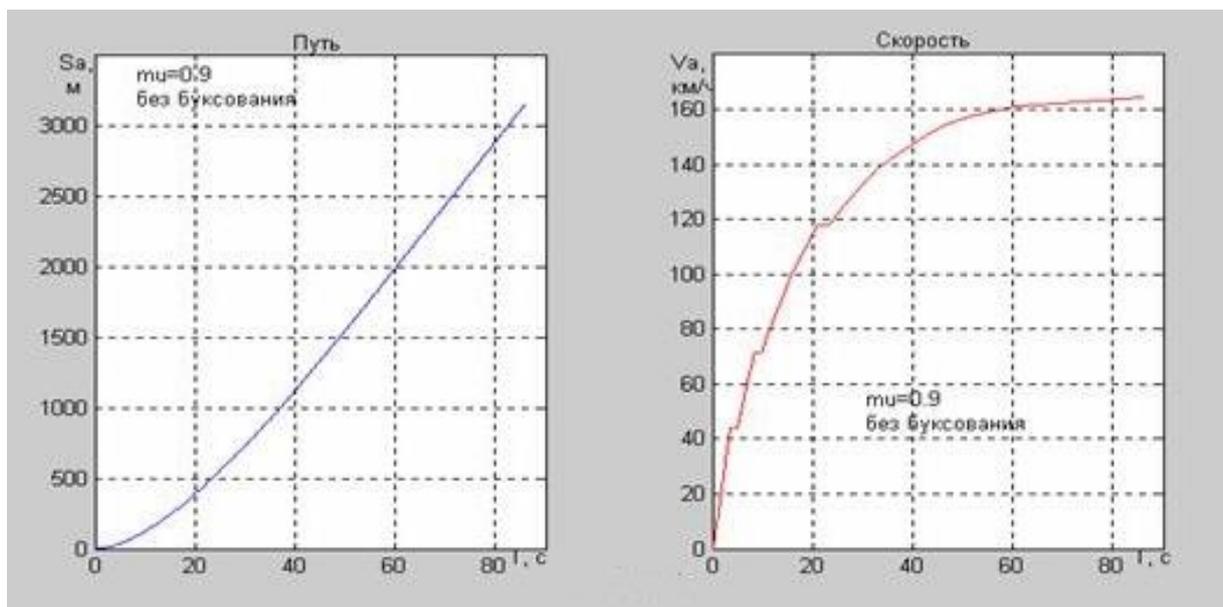


Рис. 2. График циклов разгона автомобиля с подключенным полным приводом

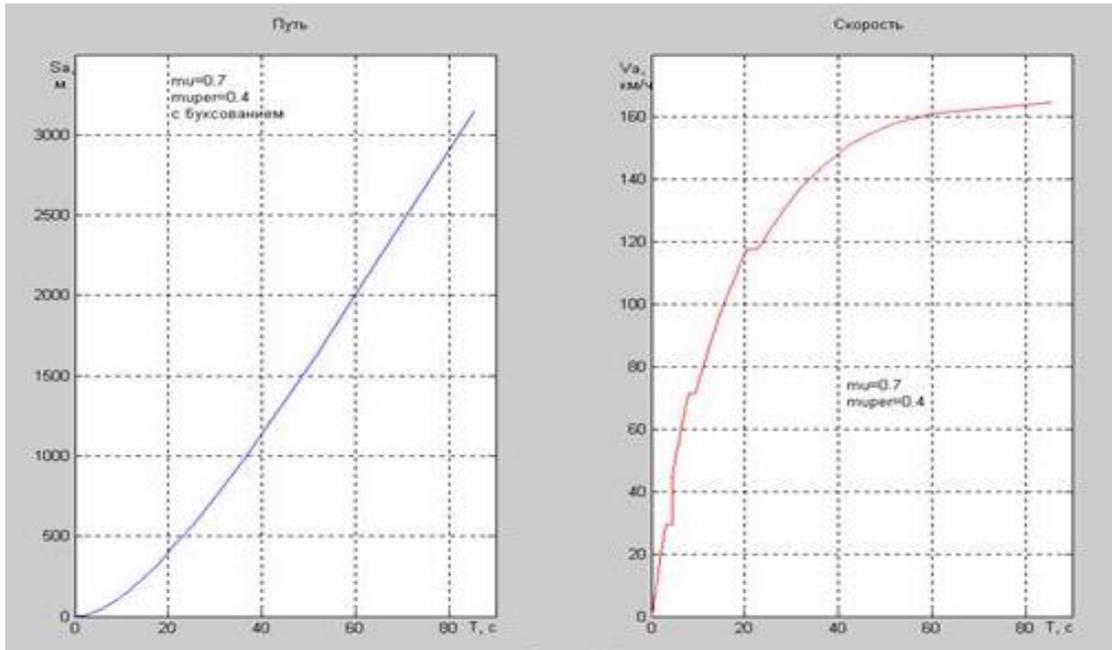


Рис. 3. График циклов разгона автомобиля с буксованием ведущей оси

Для практической реализации математической модели с учетом значительного количества операторов была создана блок-схема разгона автомобиля на первой передаче с использованием метода программирования в прикладном пакете ситуационного моделирования MatLAB/Simulink (рис. 4) [3].

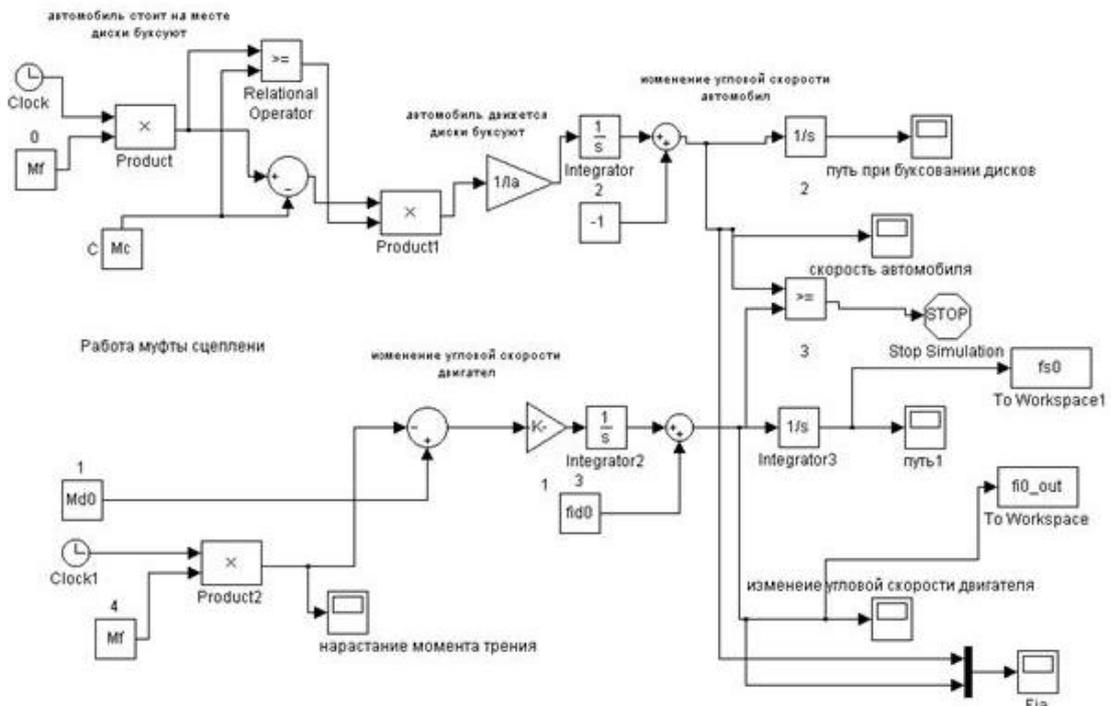


Рис. 4. Моделирование угловой скорости при разгоне автомобиля

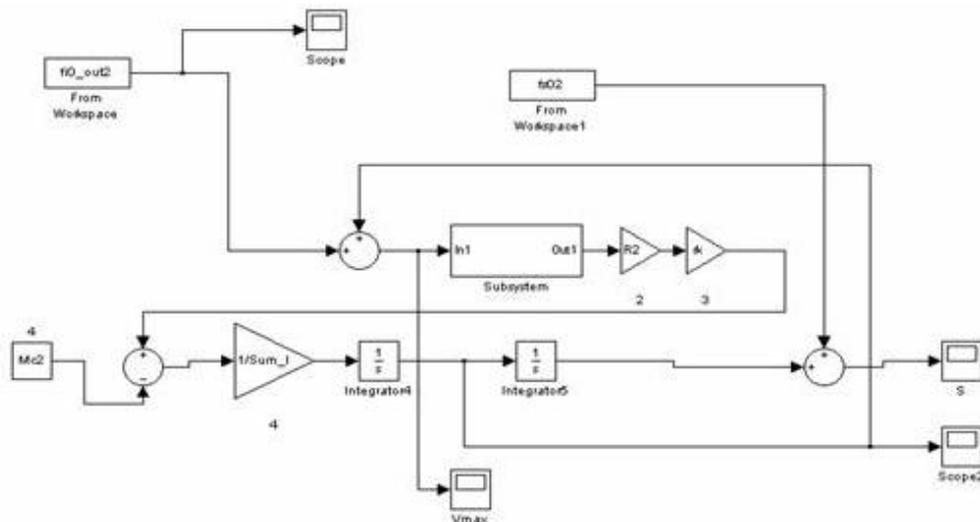


Рис. 5. Моделирование пути при разгоне автомобиля

**Выводы.** Разгон автомобиля по ровной поверхности с пробуксовкой ведущей оси представляет сложную, нелинейную систему, поддающуюся по блоковому моделированию. Математическая модель разгона представлена в виде пяти состояний (фаз), в каждой из которых изменяется не только структура силового воздействия на массы, но и приведенные параметры динамической системы. Пробуксовку ведущей оси (колес) целесообразно учитывать на низших передачах, так как при переходе на последующие ступени момент, подводимый к оси от двигателя, становится меньше момента сцепления колес с поверхностью. Для более детального отображения математической моделью реального процесса пробуксовки ведущей оси, в последней необходимо учитывать переменный коэффициент сцепления под колесом и изменение вертикальной нагрузки на ось в период разгона. При практической реализации математической модели с помощью языка уровня MATLAB необходимо учитывать создание значительного объема операторов. Переход к ситуационному моделированию при помощи пакета SIMULINK из MATLAB значительно улучшает визуализацию протекающих процессов, что способствует более быстрой «отладке» математической модели.

### Список литературы

- [1] Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
- [2] Литвинов А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: - М.: Машиностроение, 1989. - 240 с.
- [3] Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1 / 7.0. Simulink 5 / 6 в математике и моделировании. - М.: ООО «Солон-ПРЕСС», 2005. - 575 с.

**Крылов Максим Викторович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: maxkrylov2015@yandex.ru

Е.А. Мишин

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМОБИЛЯ ШЕВРОЛЕ НИВА ДЛЯ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Зимнее содержание дорожных покрытий в нашей стране имеет огромное значение, так как автомобильный транспорт работает около 5 месяцев в году в зимних условиях, при больших снегопадах, снежных заносах и гололеде. В зимнее содержание дорог входит очистка проезжей части от снега немедленно после снегопада, борьба с гололедом и транспортирование снега к местам свалки. Для поддержания дорог в проезжем состоянии применяют различные типы снегоочистителей, снегопогрузчики, пескорозбрасыватели, и машины для удаления снежно-ледяных накатов.

Одним из распространенных способов борьбы со скользкими покрытиями является посыпка ледяных образований песком. Возможно также применение мелкого гравия, просеянных каменноугольных шлаков и других мелких фракций инертных материалов.

Для распределения инертных материалов и солей на дорогах используют различные типы и конструкции машин. Большинство пескорозбрасывателей имеет специальное оборудование, смонтированное на шасси грузового автомобиля или на прицепе (полуприцепе) к тягачу [1].

Как правило, такие машины имеют дополнительное оборудование, которое, кроме распределения сыпучих материалов, позволяет выполнить операции по уборке улиц. Эти машины могут быть использованы также в качестве транспортных средств.

Использование дополнительного оборудования значительно расширяет функциональный потенциал транспортного средства. Установка навесной техники позволяет разрешать задачи любого уровня сложности. Таким образом, достигается максимальная экономия человеческих сил и энергии. Целесообразность применения навесного оборудования обусловлена повышением производительности труда и существенно повышается скорость проведения работ.

Машины для борьбы с гололедом бывают с механическим, физико-термическим и химическим способом воздействия на гололед. При содержании дорожных покрытий применяют в основном распределители противогололедных материалов с химическим воздействием на гололед, т.е. распределители по поверхности покрытия песка и сухих хлоридов.

Специальное оборудование этих машин состоит из кузова для технологических материалов, скребкового конвейера, распределительного устройства, привода и гидросистемы. Распределители часто оснащаются дополнительным оборудованием: щеточным устройством и снежным плу-

гом, конструкция которых аналогична оборудованию подметально-уборочных машин [1].

Для замены дорогостоящей специальной уборочной техники и повышения универсальности автомобиля Шевроле Нива предлагается его модернизировать путем установки навесного и прицепного оборудования для зимнего содержания дорог. На основании обзора и анализа существующих машин по уходу за дорогами в зимнее и летнее время в качестве аналога для проектирования выбираем гидросистему **комбинированной уборочной машины ЭД-405С**.

С целью улучшения надежности, долговечности и ремонтпригодности гидросистемы машины производим замену следующих гидроузлов: двухкаскадный предохранительный клапан введем вместо однокаскадного, вместо гидроцилиндра одностороннего действия со встроенным односторонним гидрозамком введем гидроцилиндр двухстороннего действия и гидрозамок двухстороннего действия, добавим два обратных клапана, а также произведем замену четырехпозиционных распределителей на трехпозиционные.

Основные технические характеристики автомобиля Шевроле Нива приведены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики автомобиля Шевроле Нива

Характеристика	Базовый автомобиль	Модернизированный автомобиль
Длина [мм]	4048	8330
Ширина [мм]	1770	2240
Высота [мм]	1652	1652
База [мм]	2450	2450
Колея передних/задних колес [мм]	1450/1440	1450/1440
Масса автомобиля [кг]	1350	2050
Тип двигателя	бензиновый, четырехтактный	бензиновый, четырехтактный
Количество и расположение цилиндров	4, рядное	4, рядное
Рабочий объем двигателя, см <sup>3</sup>	1690	1690
Максимальная мощность [кВт]/[л.с.]/[об/мин]	58.5/80/5000	58.5/80/5000
Максимальный крутящий момент [Нм]/[об/мин]	127.5/4000	127.5/4000
Максимальная скорость [км/ч]	140	100

Шевроле Нива будет иметь следующее специальное оборудование: пескоразбрасывающее и плужное (рис. 1).

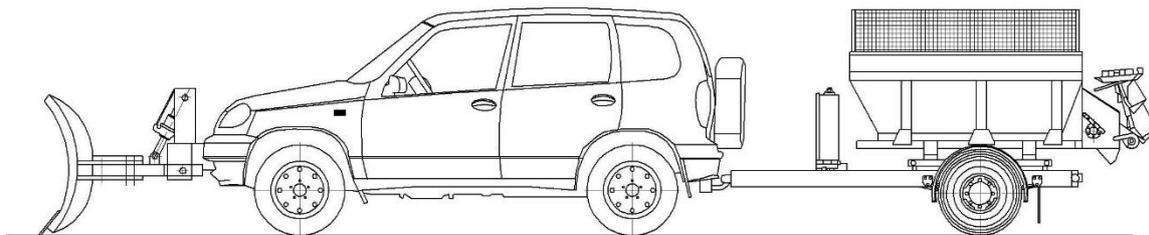


Рис. 1. Общий вид Шевроле Нива с оборудованием для коммунального хозяйства

Разработанная схема гидропривода (рис. 2) служит для обеспечения работы пескоразбрасывающего оборудования (диск пескоразбрасывателя и лента транспортера кузова) и уборочного оборудования (плуг) [2].

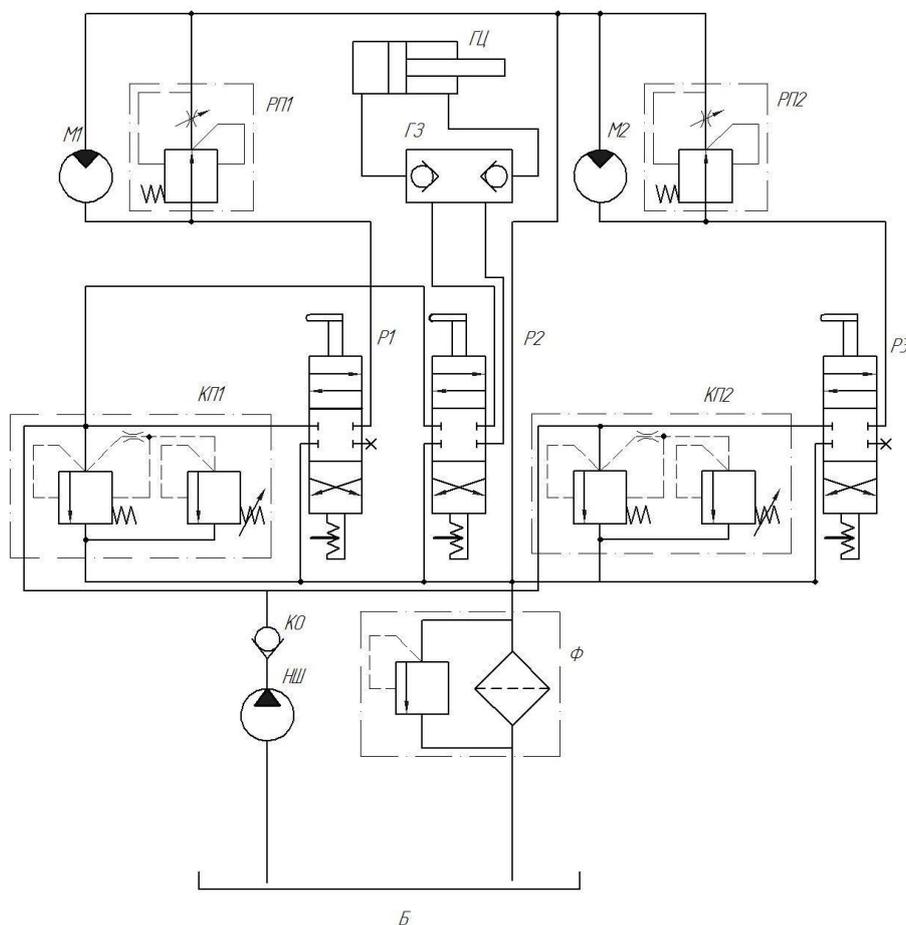


Рис. 2. Гидравлическая схема привода работы навесного оборудования

Пескоразбрасывающее оборудование служит для распределения песко-соляной смеси по дорожному покрытию. Загруженная в бункер смесь подается транспортером на вращающийся диск и разбрасывается [4].

Плуг служит для очистки дорожного покрытия. Привод транспортера, диска, подъем и опускание плуга гидравлический.

Насос гидросистемы подсоединен к шкиву коленчатого вала через электромагнитную муфту. Она предназначена для разъединения и соединения вала насоса и шкива коленчатого вала.

Гидропривод работает следующим образом [2]. Насос подает рабочую жидкость из бака в два отдельные контуры. Первый контур обеспечивает работу диска пескоразбрасывателя и подъем (опускание) плужного оборудования. Вторым контуром обеспечивается работа ленты транспортера. В гидроприводе аналога опускание плужного оборудования происходит под действием собственного веса. В проектируемом гидроприводе опускание (подъем) плужного оборудования производится управлением распределителя. Это дает возможность уменьшить массу навесного оборудования, его габариты и эргономичность.

Установленный предохранительный клапан непрямого действия дает преимущество перед предохранительным клапаном прямого действия: повышается надежность работы всего гидропривода, так как данный клапан допускает малую разницу давлений при открытии и закрытии и сравнительно небольшое пиковое давление в системе при срабатывании. Предохранительный клапан обеспечивает слив рабочей жидкости при перегрузках в системе [3].

Также в гидропривод был введен обратный клапан (КО) для предотвращения выхода из строя насоса при перегрузках в случае отказа предохранительных клапанов. В то же время обратные клапаны предотвращают вытекание рабочей жидкости из системы при замене насоса [3].

Для очистки масла на сливе установлен фильтр магистральный. Монтируется он на маслобаке. В случае загрязнения фильтра срабатывает переливной клапан фильтра, и рабочая жидкость идет без очистки в маслобак, поэтому необходима своевременная замена элемента фильтра. Давление в сливной магистрали не должно превышать 1 МПа [3].

Управление рабочими органами осуществляется гидрораспределителями. Управление распределителем ручное. Распределители - трехпозиционные, четырехлинейные с механическим фиксатором.

Гидромотор М1 служит для привода разбрасывающего диска. Гидромотор М2 приводит в движение ленту транспортера. Выбор необходимого режима работы гидрооборудования достигается с помощью регуляторов потока РП1, РП2 [4].

Гидроцилиндр ГЦ служит для подъема и опускания плуга. Для удержания гидроцилиндра в рабочем положении в системе предусмотрен гидрозамок двухстороннего действия.

Отличительные качества гидронавесной системы заключаются в простом и не требовательном обслуживании, надежности и долговечности, а также в высоком уровне производительности и возможности использования различных масел

### Список литературы

[1] *Бородачев, И.П.* Справочник конструктора дорожных машин [Текст] / И.П. Бородачев. – М.: Машиностроение, 1965. – 723 с.

[2] *Васильченко, В.А.* Гидравлический привод строительных и дорожных машин [Текст] / В.А. Васильченко, Ф.М. Беркович. – М.: Стройиздат, 1978. – 170 с.

[3] *Марченков, В.П.* Элементы гидропривода и гидравлические схемы строительных и дорожных машин [Текст] / В.П. Марченков, В.М. Дудин. – Ярославль, 1979. – 82 с.

[4] *Сорока, В.П.* Разбрасыватели песка и соли [Текст] / В.П. Сорока. – М.: НИИИнфстройдоркоммунмаш, 1967. – 43 с.

**Мишин Евгений Александрович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ea.mishin2016@yandex.ru

В.В. Попков

## **ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ХОДОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Существенной составляющей процесса создания новой техники в машиностроении является проведение испытаний и исследования полученных характеристик у опытных образцов. Особенно это касается такой отрасли машиностроения как автомобилестроение. Поэтому создание высокоэффективных автоматизированных контрольно-испытательных комплексов (АКИК) для проведения дорожных испытаний транспортных средств является актуальной научно-технической проблемой.

При проведении скоростных испытаний оценке подвергаются такие показатели и характеристики скоростных свойств транспортных средств, как максимальная скорость, время разгона на заданном пути и время разгона до заданной скорости.

Эффективность тормозных систем оценивается по длине тормозного пути или определяется посредством измерения среднего значения предельного замедления, которые, в свою очередь, определяются в процессе тормозных испытаний транспортных средств [2].

Проведение дорожных испытаний по оценке тормозных, скоростных, топливно-экономических и эксплуатационных характеристик транспортных средств, прежде всего, полноприводных, при движении по грунтовым и песчаным дорогам и бездорожью, не обеспечивает достаточной точности фиксации фактической скорости движения и пройденного пути. Кардинальным решением для испытаний, в т.ч. и на бездорожье, есть бесконтактное измерение фактической скорости, ускорения движения и пройденного пути с помощью доплеровского радиолокатора, приемо-передающий модуль (ППМ) которого выполнен с двумя приемо-передающими антеннами, диаграммы направленности которых расположены под углом  $90^\circ$  и направлены вперед-назад под углом  $45^\circ$  относительно полотна дороги. Такое решение значительно уменьшает погрешности оценки параметров движения за счет продольных колебаний транспортного средства относительно его центра масс и полностью исключает характерные существенные погрешности традиционных методов измерения, которые вызваны пробуксовыванием его тяговых колес [1].

Для удобства крепления ППМ на транспортном средстве используется специальная магнитная платформа (рис. 1). Крепления четырех магнитных фрагментов на платформе выполнены с возможностью их свободного поворота вокруг продольных осей. Это позволяет оперативно адаптировать платформу к поверхностям разной кривизны и устанавливать ППМ на лю-

бых транспортных средствах со стальными элементами конструкции из других магнитных материалов.

В основу комплекса АКИК, созданного на базе рассматриваемого ППМ, возложены также задачи реализации работы ППМ в той части миллиметрового диапазона волн, в которой затухание в приземном слое атмосферы достигает максимума (60 ГГц) для обеспечения высоких показателей помехоустойчивости и электромагнитной совместимости, использование цифровой системы фазового автоматического регулирования частоты для синхронизации отраженного от полотна дороги сигнала и импульсного метода для измерения пройденного пути, скорости, ускорения движения, расхода топлива и времени.

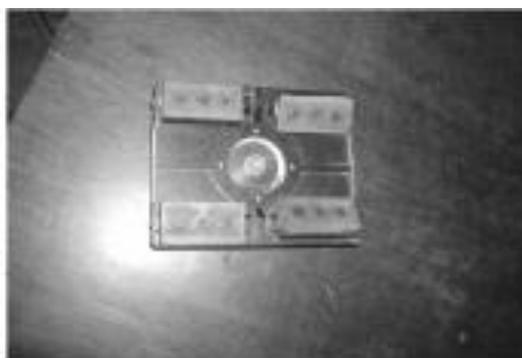


Рис. 1. Магнитная платформа

В последних версиях данного комплекса используется унифицированный блок измерений на основе однокристального микроконтроллера, который обеспечивает обработку информации от датчиков различного типа, а также персональный компьютер.

Конструктивно блок измерения вместе с источниками вторичного электропитания обычно размещен в портативном корпусе (рис. 2).



Рис. 2. Автоматизированный контрольно-испытательный комплекс для дорожных испытаний транспортных средств

Программное обеспечение (ПО) функционирует в среде различных операционных систем, таких как Windows или Linux. Оно обеспечивает выбор одного из возможных режимов АКИК путем активизации кнопок, выведенных в средней части окна, а именно «Р» (рабочий режим), «ФК» (функциональный контроль), «К» (калибровка), «В» (ручная установка пороговых значений и масштабных коэффициентов).

Кроме указанных, в средней части окна присутствуют кнопки «Start» (команда начала регистрации и обработки информации), «Stop» (команда окончания регистрации и обработки информации), «Печать» (команда вывода на печать результатов измерения).

Таким образом, данный комплекс удобен в обслуживании и использовании при проведении ходовых испытаний транспортных средств. Характеристики комплекса могут быть адаптированы при различных условиях эксплуатации, что делает его удобным средством измерительной техники при проведении таких испытаний.

### **Список литературы**

[1] Расчет тягово-скоростных свойств и топливной экономичности специальных транспортных средств [Электронный ресурс]: <http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel13E120.pdf/> (дата обращения 26.03.2017).

[2] Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения [Электронный ресурс]: <http://zakonrus.ru/gost/gr4113-99.htm/> (дата обращения 25.03.2017).

**Попков Вячеслав Владимирович** - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [slaviclinde@yandex.ru](mailto:slaviclinde@yandex.ru)

Д.С. Кузьмин, Н.П. Кодинцев

## **ПОЛНОПРИВОДНЫЙ АВТОМОБИЛЬ ГАЗЕЛЬ NEXT**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Движение автомобиля по грунтовым и труднопроходимым дорогам, а также движение в условиях толстого снежного покрова предъявляют к автомобилю дополнительные требования, который должен обладать высокой проходимостью и устойчивостью на дороге.

Пройодимость автомобиля характеризуется конструкцией трансмиссии, а также типом привода и колесной формулой. Полный привод обеспечивает лучшую управляемость и курсовую устойчивость автомобиля в движении, особенно на скользких дорогах, позволяет водителю увереннее и быстрее проходить повороты. Однако трансмиссия полноприводного автомобиля требует введения в конструкцию новых узлов, что делает автомобиль более тяжелым, шумным. Усложнение конструкции умножает производственные издержки, что отражается на стоимости автомобиля. В свою очередь, потребуются большие затраты на обслуживание и ремонт такой машины в эксплуатации. Определяющим моментом для всей компоновки полноприводного автомобиля является выбор конструкции раздаточной коробки и приводов колес. Раздаточная коробка задает важнейшие эксплуатационные параметры машине [1].

Раздаточная коробка представляет собой агрегат, который распределяет крутящий момент от двигателя на другие приводные механизмы, также увеличивающие число передач в трансмиссии. Устройство является неотъемлемой частью автомобилей полноприводного типа. Первые транспортные аналоги появились только в начале прошлого века. Они предназначались лишь для гоночных соревнований по шоссе и по бездорожью и имели вид легкового автомобиля. После ряда манипуляций была произведена раздаточная коробка, выполняющая задачи современных аналогов.

На автомобиль Газель Некст предлагается установить раздаточную коробку передач с межосевым приводом дифференциального типа, который предусматривает возможность принудительного отключения переднего ведущего моста (рис 1). В конструкции раздаточной коробки применяется двухступенчатый редуктор. Его работа влияет на передаточное число, как результат, количество передач увеличивается вдвое. При запуске прямой передачи внедряется первый ряд передаточных чисел, а при понижении – второй. Этот фактор обуславливает проезд автомобиля в разнообразных дорожных условиях. Так же имеется механизм, который блокирует возможность включения понижающей передачи при выключенном переднем мосте, что защищает задний мост от больших перегрузок крутящего момента [2].

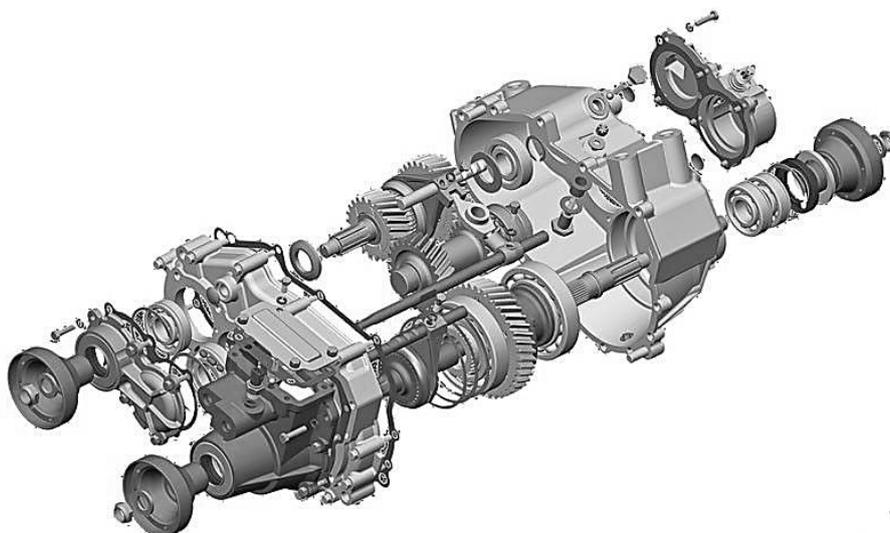


Рис. 1. Раздаточная коробка Газель Некст

Сцепление устанавливается однодисковое, сухое, с гидравлическим приводом. Карданная передача состоит из трех валов с карданными шарнирами и промежуточной опорой.

Для привода передних колес используется редуктор с гипоидной главной передачей и передаточным числом равным 5,0125 в сочетании с коническим, шестеренчатым дифференциалом (рис. 2). Передача крутящего момента от редуктора к колесам осуществляется с помощью шарниров равных угловых скоростей. Такой выбор привода был сделан из-за возможности сохранения независимой подвески. Такая подвеска имеет ряд особенностей, которые улучшают характеристики автомобиля. К ним относится меньшее значение неподрессоренной массы. Это понятие включает в себя суммарную массу всех элементов конструкции, через упругие элементы воздействующую на дорогу. Если у зависимой подвески они достаточно велики, что ухудшает управляемость, то для независимой эта величина значительно меньше [3].

К основным достоинствам установки переднего моста с приводными шарнирами равных угловых скоростей, а, следовательно, сохранения независимой подвески, можно отнести:

- хорошая управляемость автомобилем, особенно на высокой скорости;
- высокая информативность при управлении;
- повышенный комфорт при движении.

Среди ее недостатков надо отметить:

- достаточно большое число деталей и, как следствие, повышенная вероятность их повреждения в сложных дорожных условиях;
- высокая стоимость обслуживания и трудность регулировки.

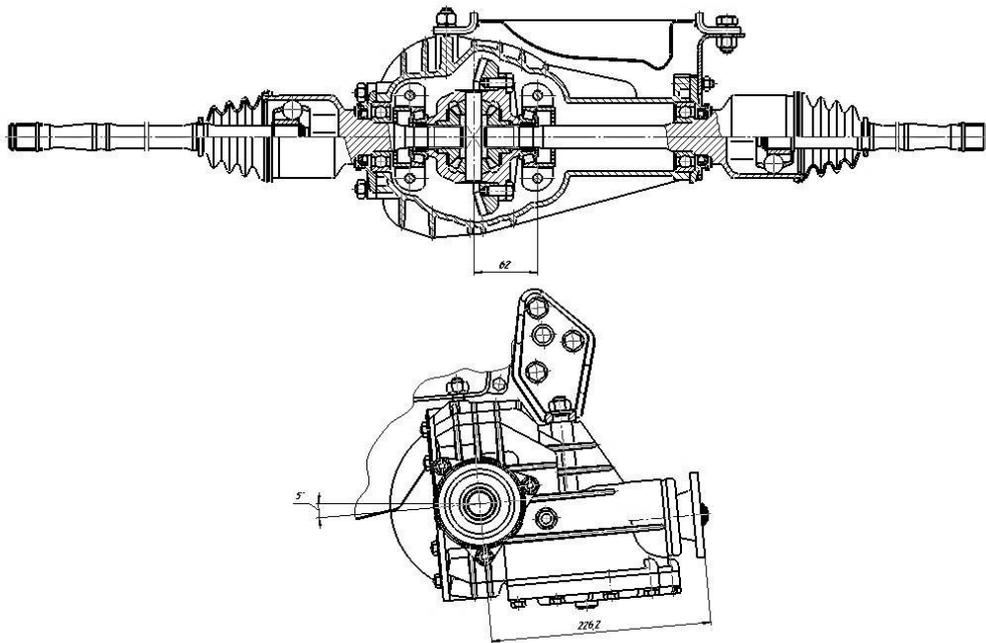


Рис. 2. Передний мост Газель Некст

Для привода задних колес используется штатный мост с гипоидной главной передачей, передаточным числом равным 5,125, коническим шестеренчатым дифференциалом и полуосями [4].

- Преимуществами данной модернизации автомобиля Газель Некст является:
- отличное сцепление всех колес с дорожным покрытием, что обеспечивает отсутствие пробуксовок при трогании на скользкой поверхности, а также высокую проходимость автомобиля;
  - улучшенная управляемость на высокой скорости;
  - высокая надежность конструкции;
  - относительная простота конструкции у автомобилей с подключаемым полным приводом.

### Список литературы

- [1] Краткий автомобильный справочник. – М.: Трансконсалтинг, 2014. – 256 с.
- [2] Некрасов В.И., Шпитко Г.Н. «Узлы деления и отбора мощности: дифференциалы, раздаточные коробки, валы и коробки отбора мощности». – М.: Машиностроение, 2014. – 479 с.
- [3] Й. Раймпель «Шасси автомобиля». – М.: Машиностроение, 2013. – 356 с.
- [4] Газель Next дизель с 2013 г.в., ремонт, эксплуатация, техническое обслуживание. – М.: Третий Рим, 2014. – 288 с.

**Кузьмин Дмитрий Сергеевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: dskuzmin2015@yandex.ru

**Кодинцев Николай Павлович** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: knp-kaluga@yandex.ru

Ю.С. Томилин

## **ПРИМЕНЕНИЕ РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ШИН НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЕ УАЗ-452**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время большинство фермерских хозяйств Российской Федерации испытывает трудности с приобретением и ремонтом сельскохозяйственной техники. Новая техника фермерам не доступна из-за высокой ее стоимости, а ремонт старой техники нерентабелен. Нами предлагается повысить универсальность автомобиля УАЗ-452, который имеет широкое использование в фермерских хозяйствах, путем установки шин низкого давления и оборудовании универсальным креплением для установки сменных сельскохозяйственных машин, таких как разбрасыватель минеральных удобрений (рис. 1).

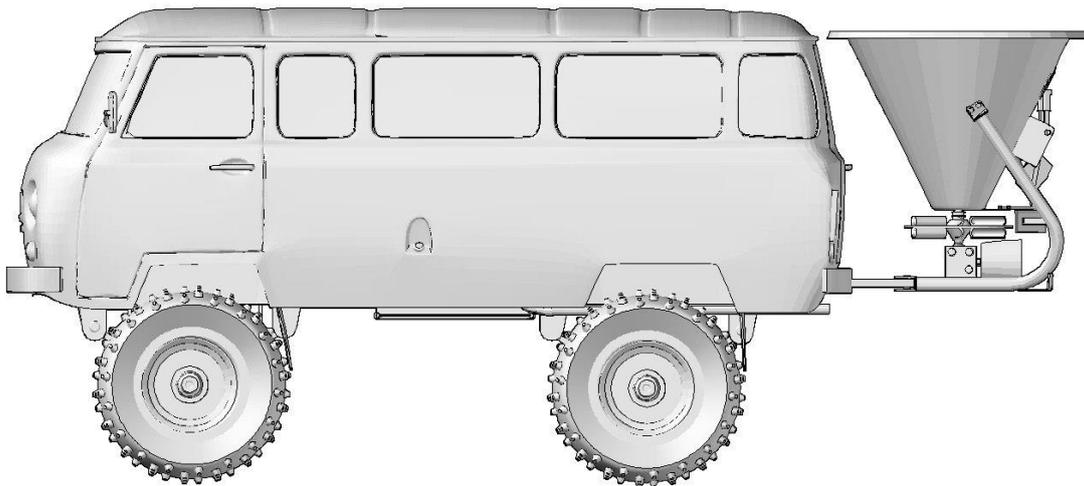


Рис. 1. Автомобиль УАЗ-452 с разбрасывателем минеральных удобрений и с шинами низкого давления

С помощью навесного разбрасывателя, можно вносить на поля твердые вещества различной плотности в виде порошка, гранул или кристаллов. В частности, это могут быть аммиачная селитра, суперфосфат, калийная соль, доломитовая и известковая мука, другие минеральные вещества (рис. 2).

Преимущества навесного разбрасывателя минеральных веществ:

- легкая настройка агрегата, простота использования;
- простое регулирование дозы внесения минеральных веществ путем изменения высоты высевной щели;
- возможность разбрасывание полезных веществ, как по всей ширине поля, так и только по краям или в середине.

Основной недостаток навесного разбрасывателя минеральных веществ – неравномерное распределение вносимого вещества по площади [1].



Рис. 2. Пример навесного разбрасывателя

Устранить уплотнение почвы при использовании автомобиля УАЗ-452 для выполнения технологических операций на поле можно применением шин низкого давления (рис. 3). УАЗ-вездеход на шинах низкого давления имеет следующие особенности:

- значительная площадь соприкосновения с грунтом дает возможность преодолевать препятствия, которые обычному колесу не под силу;
- низкое давление в шинах позволяет избежать значительной нагрузки на почву;
- управление автомобилем с такой модификацией требует дополнительного опыта;
- шины низкого давления не предназначены для высокой скорости [2].



Рис. 3. Автомобиль УАЗ-452 с шинами низкого давления

Хотя увеличение дорожного просвета при использовании таких шин обеспечивает лучшую устойчивость автомобиля и дает еще ряд преимуществ, которые были рассмотрены выше, имеются определенные недостатки. Во-первых, покрышки подвержены сильному износу на твердом покрытии. Во-вторых, увеличивается нагрузка на трансмиссионный узел и ходовую часть автомобиля.

Для повышения универсальности автомобиля УАЗ-452 потребуется существенная доработка кузова, трансмиссии и мостов. Важным моментом является балансировка при монтаже шин. Следует устанавливать специальные конструкции, помогающие увеличить ходовые характеристики и снизить износ шин. Шины низкого давления на автомобиле УАЗ-452 необходимо защитить бедлоками, которые представляют собой механические кольца, которые жестко фиксируют шину к борту диска, что обеспечивает стабильность колеса в случае возникновения дополнительных боковых нагрузок [3].

Рекомендации при установке шин низкого давления на автомобиль УАЗ-452:

- на все колеса следует монтировать одинаковые шины;
- необходимо соблюдать оптимальное давление в шинах;
- периодически проверять давление в колесах;
- для обеспечения равномерного износа передние шины следует менять местами с задними после каждых 10-15 тысяч километров пробега;
- после обкатки новой резины проводить повторную балансировку колес;
- необходимо следить за соответствием характеристик шин по отношению к сезонным изменениям.

Особенности эксплуатации автомобиля УАЗ-452 с шинами низкого давления.

Проходимость автомобиля УАЗ-452 на шинах низкого давления значительно повышается, он может преодолевать разнообразные препятствия. Это обусловлено соприкосновением с грунтом значительной площади шины. Такая резина обволакивает практически любую поверхность, принимая форму предмета, имеющегося на пути. Специалисты утверждают, что внедорожник на шинах низкого давления обладает КПД, которое на 20 % выше, чем у машин со стандартными колесами [4]. Шины низкого давления позволяют избежать высокого давления на землю, что важно при использовании такого автомобиля в сельском хозяйстве, в том числе, на фермерских угодьях. Управление машиной, оборудованной рассматриваемой конструкцией, требует определенных навыков. При использовании шин низкого давления необходимо соблюдать умеренную скорость и стараться не эксплуатировать автомобиль длительное время на асфальтированных и бетонных дорогах. Это позволит избежать преждевременного износа нестандартной резины.

**Выводы.** Шины низкого давления позволяют избежать высокого давления на землю, что важно при использовании такого автомобиля в сельском хозяйстве, в том числе, на фермерских угодьях. Управление машиной, оборудованной рассматриваемой конструкцией, требует определенных навыков. При использовании шин низкого давления необходимо соблюдать умеренную скорость и стараться не эксплуатировать автомобиль длительное время на асфальтированных и бетонных дорогах, что позволит избежать преждевременного износа нестандартной резины.

### Список литературы

[1] *Бородачев, И.П.* Справочник конструктора дорожных машин / И.П. Бородачев. – М.: Машиностроение, 1965. – 725 с.

[2] Шины низкого давления. URL:<http://auto-kult.ru/uaz-na-shinah-nizkogo-davleniya-opisanie-harakteristiki-i-otzyvy/> (дата обращения 11.11.2016).

[3] Установка и доработка шин для УАЗ-452. URL:<http://okuzove.ru/modifikacii/kak-peredelat-uaz-na-shiny-nizkogo-davleniya.html> (дата обращения 11.11.2016).

[4] Рекомендации для установки шин низкого давления. URL:<http://prouazik.ru/obslyzhivanie/rezina-shinyi-nizkogo-davleniya-469-patriot-off-roud-bezdorozhya-foto.html> (дата обращения 11.11.2016).

**Томилин Юрий Сергеевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: k4kf@bmstu-kaluga.ru

С.А. Селькин

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ «СУПРОТЕК» В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

При эксплуатации автомобиля постоянно меняется режим работы двигателя. Под режимом работы двигателя понимается частота вращения коленчатого вала и развиваемая им мощность. Элементы трансмиссии, механизмы и системы двигателя испытывают очень высокие нагрузки при эксплуатации автомобиля и со временем выходят из строя. Для увеличения ресурса двигателя и элементов трансмиссии применяют специальные триботехнические составы.

Препараты автохимии торговой марки «Супротек» в настоящее время заслужили репутацию надежных и безопасных средств улучшения технико-экономических показателей двигателей внутреннего сгорания и узлов трансмиссий различного типа и назначения. «Супротек» - это препараты группы так называемых «геомодификаторов трения». В своей основе – это комбинации мелкодисперсных минеральных веществ, обладающих нано-эффектом [1].

Многочисленные стендовые и дорожные испытания двигателей, обработанных препаратами «Супротек», выявляют следующие основные результаты:

- снижение расхода топлива и рост мощности двигателя;
- улучшенная динамика автомобиля;
- снижается токсичность отработавших газов СО и СН до 50%;
- повышается и стабилизируется компрессия в надпоршневом пространстве по цилиндрам;
- облегчается холодный пуск двигателя при низких и отрицательных температурах;
- уменьшение расхода масла на угар до 2 раз;
- снижение уровня шумов и вибрации в ДВС;
- снижается скорость износа сопряжений трения двигателя (рис. 2);
- увеличивается ресурс ДВС в 1,5-2 раза;
- восстанавливаются рабочие параметры ТНВД вплоть до номинальных;
- при аварийной потере масла двигатель может работать в безопасном режиме определенное время.

Воздействие препарата «Супротек» на двигатель является комплексным. На первой стадии обработки отмечается значительный моющий эффект препарата. Под его воздействием с поверхностей деталей снимаются нагары и отложения. Это приводит к улучшению условий смазывания де-

талей, и, соответственно, уменьшению коэффициента трения и уменьшению значений износа. На второй стадии обработки на поверхностях формируется наномодифицированный слой, обладающий низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью. Измельченный минеральный абразив, состоящий из оксидов горно-сланцевых пород, содержащийся в «Супротек», заполняет неровности, царапины и микросколы в нагруженных местах трения [1].

Как показали исследования, после обработки трибосоставом на основе препарата «Супротек» компрессия в цилиндрах повышается приблизительно от 0,01 до 0,1 МПа и стабилизируется по цилиндрам. При этом граница начала гидродинамического трения уменьшается с 4,5 до 2,5 мкм, что приводит к снижению скорости износа сопряжений трения двигателя [1].

Наибольший эффект триботехнические препараты дают там, где велика доля механических потерь, то есть при работе двигателя на холостом ходу, когда мотор работает в режиме граничного трения. Если допустить, что расход топлива на трение составляет 60% от общего числа механических потерь, а обработка поверхностей снижает коэффициент трения в 1,5 раза, то экономия в режиме холостого хода будет равна 20%.

Что касается малых частот вращения, то здесь соотношение гидродинамического и граничного трения будет примерно равным. При этом эффективность трибосоставов будет зависеть от степени износа двигателя. Для новых автомобилей она минимальна. А для двигателей с большим сроком эксплуатации, у которых цилиндры и вкладыши имеют ярко выраженные повреждения, снижение потерь на трение может достигать 5-7 %. Суммарно же эта цифра возрастает до 10-12 %. Если пересчитать это на расход топлива, то экономия составит от 3 до 6 % в зависимости от нагрузки на силовой агрегат [2].

Таким образом, применение триботехнических составов дает результат снижения коэффициента трения, доказанный при испытаниях на различных стендах и на практике. Улучшенные за счет применения трибосоставов параметры стабильно сохраняются в течение нескольких лет и позволяют получить высокий экономический эффект.

### Список литературы

[1] Триботехнические составы Супротек [Электронный ресурс]: <http://forums.drom.ru/general/t1152126846.html> (дата обращения 21.03.2017).

[2] Присадки к маслам [Электронный ресурс]: <http://texcentrik.ru/baza-znaniy/prisadki-k-maslam-chudo-sredstvo-ili-neopravdannaya-trata-deneg> (дата обращения 21.03.2017).

**Селькин Сергей Алексеевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: s.a.selkin@yandex.ru

А.В. Семизоров

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТУРБО-НАГНЕТАТЕЛЯ В ДВИГАТЕЛЕ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Каждый автомобилист, выбирая автомобиль, обращает свое внимание на безопасность и надежность, красоту и функциональность, а также на мощность и крутящий момент. Показатель максимальной скорости, который инженеры добиваются путем усовершенствования аэродинамики автомобиля, не может помочь в реализации ровного и качественного ускорения на большом количестве реализуемых автомобилей. Самым доступным способом улучшения скоростных показателей и характера ускорения является внедрение двигателя с большим объемом, что приводит к увеличению потребления топлива и повышению количества вредных выбросов.

Большинство современных двигателей внутреннего сгорания оснащены механическими турбинами, которые необходимы для получения большей мощности и лучшего ускорения. Максимальный крутящий момент в таких двигателях достигается в довольно узком диапазоне оборотов. Так, у некоторых турбированных двигателей наблюдается плохой отклик на изменение положения педали газа, так как двигателю требуется некое количество времени, чтобы поднять число оборотов до включения турбины в работу. Такое явление получило название «турбо-яма». Для удаления «турбо-ямы» многие производители устанавливают несколько механических турбо-нагнетателей, которые работают в разном диапазоне оборотов, но это приводит к удорожанию конструкции самого двигателя, а также повышению теплонагруженности силовой установки. Одним из направлений решения данной проблемы является разработка турбо-нагнетателя, который обеспечит нагнетание воздуха в широком диапазоне оборотов. Таким решением является установка электро-нагнетателя [1].

Способ улучшения нагнетания воздуха в двигатель впервые предложила компания KAMANN&AUTOSPORT. Она изобрела электрический турбо-нагнетатель, который обеспечивает широкий диапазон работы, данную разработку признали во всей Европе. Общий вид нагнетателя представлен на рисунке 1. Такая система значительно улучшает эффективность движения автомобиля, которая способствует уменьшению расхода топлива, снижает показатели выбросов CO, значительно продлевает срок службы катализаторов и увеличивает крутящий момент двигателя. Компания предложила полностью отказаться от механических нагнетателей в пользу электрических [2].



Рис. 1. Электрический турбо-нагнетатель

Конструкция электрической турбины аналогична механической, только привод крыльчатки осуществляется не энергией выхлопных газов, а электрическим двигателем, скорость вращения которого зависит от режима работы силовой установки.

Неоспоримым преимуществом электрических турбо-систем является эффективность нагнетания воздуха во всем диапазоне оборотов двигателя, даже когда двигатель только запустился – нагнетаемый воздух уже присутствует во впускном коллекторе. Нагнетая воздух при запуске двигателя, электрический турбо-нагнетатель дает мгновенный ответ на нажатие педали газа даже на небольшой скорости [3].

Электрический турбо-нагнетатель можно совместить с механическим с целью повышения эластичности и экономичности двигателя, снижения выбросов вредных веществ. Схема комбинированной конструкции представлена на рисунке 2.

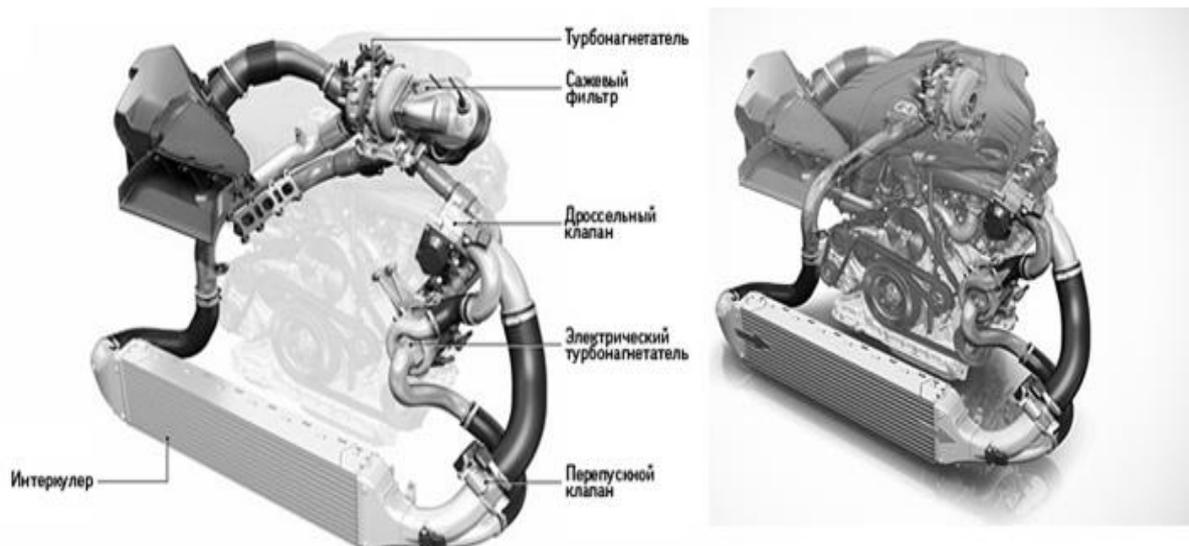


Рис. 2. Система наддува воздуха с применением механического и электрического нагнетателя

В данной схеме двигатель использует классический основной турбо-нагнетатель, приводящийся в движение энергией выхлопных газов, и маленькую дополнительную турбину, работающую от небольшого мотора и включающуюся исключительно на низких скоростях. Электрический турбокомпрессор располагается в системе за механическим турбонаддувом и интеркуллером и большую часть времени не работает. Однако на очень низких скоростях, особенно при начале движения с места, воздух, нагнетаемый основной турбиной перенаправляется через электрический турбокомпрессор, который, вращаясь на высокой скорости, нагнетает его в камеры сгорания с большой силой. Это обеспечивает лучшие разгонные характеристики.

В результате рассмотрения схемы с применением электрической турбины можно сделать вывод, что применение данного способа нагнетания воздуха обеспечит следующие преимущества:

- увеличение крутящего момента и лучшее ускорение автомобиля в целом;
- максимальное давление наддува до 1бар;
- установка возможна как до, так и после оригинального воздушного фильтра, а также после фильтра нулевого сопротивления
- больше воздуха во всем диапазоне оборотов работы двигателя (избирательно для разных объемов двигателей);
- легкая и быстрая установка на любой автомобиль (приблизительно 30-90 минут в зависимости от сложности конструкции);
- эффективное сгорание топлива;
- понижает потребление топлива до 10 %;
- не ограничивает поток воздуха в двигатель, даже когда не работает.

Подводя итог выше сказанному, можно сделать вывод, что электрический турбо-нагнетатель может найти широкое применение как в дизельных, так и в бензиновых двигателях легковых и грузовых автомобилей, тракторной техники. Возможно применение данной системы для кратковременного увеличения пиковой мощности.

### **Список литературы**

[1] Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания. Москва, Изд-во ХНАДУ, 2009, 500 с.

[2] Электротурбина. URL: <https://www.drive2.ru/b /1729382256910326228/> (дата обращения 16.03.2017).

[3] Турбина электрическая – как она устроена. URL: <https://auto.today/bok/3226-turbina-elektricheskaya.html> (дата обращения 16.03.2017).

**Семизоров Артем Витальевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [art.semizorov@yandex.ru](mailto:art.semizorov@yandex.ru)

Н.А. Родионов

## **ПРОГРЕССИВНЫЕ ТИПЫ ПОДВЕСОК СОВРЕМЕННОГО АВТОМОБИЛЯ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Подвеской автомобиля является совокупность устройств, обеспечивающих упругую связь между несущей системой и мостами или колесами автомобиля, уменьшение динамических нагрузок на несущую систему и колеса, и затухание их колебаний, а также регулирование положения кузова во время движения.

По назначению детали подвесок делятся на упругий элемент, включающий в себя стабилизатор поперечной устойчивости, направляющее устройство и гасящее устройство.

Конструкция подвески зависит от того, для каких колес она применяется передних, задних или ведущих. Кроме того, различают зависимые и независимые подвески. К последним относятся подвески на двойных поперечных рычагах и с направляющими пружинными и амортизаторными стойками, которые требуют мало места в поперечном направлении, оставляя в середине место для двигателя. Другие независимые подвески - на продольных и на косых рычагах - почти не занимают пространства по высоте и позволяют получить широкий багажник с широким полом. На всех зависимых подвесках балка размещается на полную величину хода подвески. Свободное место, которое должно быть оставлено для этого сверху, уменьшает объем заднего багажника и затрудняет размещение запасного колеса. Спереди такая балка оказалась бы под двигателем, и для обеспечения достаточного хода сжатия потребовалось бы поднять двигатель или сместить его назад. По этой причине зависимые передние подвески применяются только на грузовых автомобилях и полноприводных многоцелевых легковых автомобилях.

Многие изготовители устанавливают на все модели с одинаковым типом привода одинаковые по конструкции подвески. Независимо от типа привода отмечается явная тенденция к применению направляющих стоек в передних подвесках. На легковых автомобилях классической компоновки задняя зависимая подвеска все больше вытесняется подвесками на косых и двойных поперечных рычагах. В то же время зависимые подвески все чаще применяются для задних колес на переднеприводных и полноприводных легковых автомобилях.

Полунезависимая задняя подвеска имеет винтовые цилиндрические пружины и гидравлические телескопические амортизаторы двустороннего действия. Основной несущий элемент подвески - балка с

приваренными к ней через усилители продольными рычагами. Внутри балки проходит штанга стабилизатора поперечной устойчивости, концы которой приварены к рычагам. К рычагам подвески приварены кронштейны с проушинами для крепления амортизаторов и фланцы для крепления осей задних колес и щитов тормозных механизмов. Спереди рычаги снабжены приварными втулками с запрессованными в них сайлент-блоками. Через центральную втулку сайлент-блока проходит болт, соединяющий рычаг с кронштейном.

Зависимая подвеска широко применяется в грузовых автомобилях, автобусах и легковых автомобилях. В большинстве случаев грузовые автомобили и автобусы имеют направляющее устройство, совмещенное с упругим элементом, в виде продольных полуэллиптических листовых рессор.

Рессора собрана из стальных листов разной длины, которые стянуты вместе хомутами и прикреплены к переднему мосту двумя стремлянками. С помощью этих же стремлянок к верхней части рессоры крепятся резиновый буфер, смягчающий удары при максимальных прогибах рессоры. В переднюю подвеску входит также гидравлический телескопический амортизатор, который с помощью резинометаллических шарниров соединяет передний мост и кронштейн лонжерона рамы [1].

В некоторых автомобилях рессоры крепятся по-другому, на их передних концах с помощью болтов и стремлянок закрепляются съемные уши, которыми рессоры закреплены в кронштейнах пальцами. Задние рессоры могут свободно перемещаться между опорными сухарями и втулками в кронштейнах.

В задней зависимой подвеске ведущего моста легковых автомобилей упругим элементом служат спиральные пружины, установленные в чашках на балке моста и через резиновые виброизолирующие прокладки на кузове. Ограничители хода сжатия установлены соосно пружинам. Имеется дополнительный резиновый буфер, предотвращающий жесткие удары передней части картера главной передачи о кузов при больших прогибах подвески в сочетании с поворотом моста, благодаря податливости резиновых втулок крепления штанг при интенсивном разгоне автомобиля.

Направляющим устройством являются две верхние, две нижние и поперечная штанги (тяги), установленные между мостом и кузовом и закрепленные в резинометаллических шарнирах. Продольные штанги, работая совместно, воспринимают продольные силы. Поперечная штанга уравнивает только боковые силы. Верхние штанги короче нижних, причем длины штанг и их соотношение подобраны таким образом, чтобы обеспечить стабильную работу заднего карданного шарнира и шлицевого соединения карданного вала [2].

Подвеска МакФерсон - самая распространенная на сегодняшний день конструкция подвески - независимая подвеска с пружинной стойкой и рычагом. Подвеска МакФерсона была предусмотрена для применения на все колеса (и передние, и задние). Например, ее использовали в проекте Шевроле Кадет, а также данный тип подвески предусмотрен на современных автомобилях – седане Тойота Камри и кроссовере Тойота Венза.

Ее конструкция стала продолжением эволюции двухрычажных подвесок, где управляющий рычаг сверху заменили вертикальной направляющей - пружинной стойкой. Такие стойки МакФерсон могут использоваться как на передней оси автомобиля, так и на задней, благодаря имеющимся конструкциям. При этом происходит соединение ступицы колеса с телескопической трубой. К управляемым передним колесам стойка прикрепляется с помощью шарниров [2].

Самыми основными преимуществами этой подвески можно считать ее малую неподрессоренную массу и компактность. Также на широкое распространение подвески МакФерсона во многом повлияла и ее не слишком высокая стоимость, небольшая трудоемкость производства и наличие простора для дальнейших усовершенствований. Она же явилась довольно удачным решением для варьирования различных компоновочных схем в ограниченных пространствах.

К недостаткам подвески МакФерсона можно отнести шумность и недостаточную надежность, а также малую компенсацию крена - клевание при торможении автомобиля и приседания при его разгоне.

В наши дни эта подвеска является самым распространенным типом независимых подвесок для легковых автомобилей. Она проста, сравнительно недорога, компактна и имеет хорошую кинематику. Подвеска МакФерсона имеет направляющую стойку и один поперечный рычаг. Иногда присутствует еще и один продольный рычаг. При проектировании ее главной целью было добиться компактности и наибольшей простоты конструкции, а не комфорт и управляемость на дороге. В итоге она получила не такие уж и отличные характеристики.

Комбинированная подвеска представляет собой комбинацию двух подвесок, спереди ставится независимая подвеска, сзади моста (зависимая).

Такая комбинация хорошо подходит для кроссоверов и паркетников, обеспечивая возможность свободно двигаться по городу и заезжать в лес или проехать по проселочным дорогам. По своим возможностям получается что-то среднее, но для большинства обеспечивающие приемлемые условия движения.

Из-за большой массы зависимая подвеска ведущих колес на волнистой, неровной дороге (в особенности на поворотах) не достигает по ряду параметров независимых подвесок, однако склонность к смещению может быть в определенной степени снижена установкой газонаполненных однотрубных амортизаторов. Эти амортизаторы дороже, однако позволяют без заметного ухудшения плавности хода повысить усилие сжатия. Эта мера является самым простым и экономичным способом устранения основного недостатка не зависимой подвески.

Важным достоинством является довольно большой диапазон регулировки жесткости. Благодаря этому можно выбрать наилучший ее вариант, с учетом нагрузки идущей на подвеску. Еще один плюс заключается в постоянном положении кузова. Благодаря этому улучшается устойчивость автомобиля и правильно располагаются фары при любых нагрузках, что обеспечивает безопасные условия вождения даже ночью.

Рассмотренные типы подвесок автомобилей наиболее популярны и прогрессивны в наши дни.

#### **Список литературы**

[1] *Нарбут А.Н.* Автомобили. Рабочие процессы и расчет механизмов и систем [Текст] - М.: Академия, 2008. - 256 с.

[2] *Богатырев А.В.* Автомобили - М.: КолосС, 2004. - 496 с.

**Родионов Никита Александрович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [nickita.rodionoff2018@yandex.ru](mailto:nickita.rodionoff2018@yandex.ru)

Д.В. Стрункин, С.А. Плахов

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПОДЖИМНОГО МЕХАНИЗМА РУЛЕВОЙ РЕЙКИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Одним из тяжело нагруженных механизмов любого автомобиля является рулевое управление, которое передает вращение рулевого колеса передним колесам. Известно несколько типов рулевых механизмов: червяк-ролик, червяк-сектор, винт-шариковая гайка и шестерня-рейка [1].

Самым распространенным типом рулевого управления на сегодняшний день является реечное рулевое управление с гидроусилителем руля. Схема действия данного рулевого механизма (рис. 1) заключается в функционировании пары деталей «шестерня-рейка»: при повороте руля происходит вращение шестерни, соединенной с колонкой. Вращательные движения шестерни передаются рейке, которая совершает поступательные движения в горизонтальной плоскости влево или вправо. Реечные перемещения передаются дальше посредством рулевых тяг привода на управляющие колеса [2].

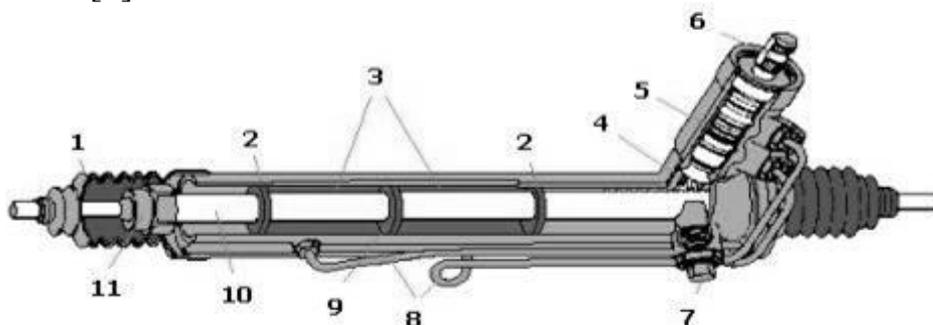


Рис. 1. Реечный рулевой механизм

- 1 – защитный резиновый чехол (пыльник); 2 – кольцевые уплотнения (сальники);
- 3 – цилиндр гидравлического усилителя; 4 – зубчатая шестерня; 5 – торсион;
- 6 – шлицевое соединение торсиона; 7 – регулировочный винт;
- 8 – гидравлические трубки; 9 – центральное уплотнение (поршень);
- 10 – рулевая рейка; 11 – гнездо рулевой тяги

Достоинствами реечного механизма являются: простота и компактность конструкции; небольшое количество тяг и шарниров не требуют частого обслуживания; небольшой вес; хорошая точность управления; хороший самовозврат руля; небольшая стоимость. К недостаткам можно отнести следующее: конструкция хорошо передает удары от дорожных неровностей на руль; конструктивная склонность к появлению стуков в рейке; необходимость периодической подтяжки.

Рулевое управление работает в тяжелонагруженном режиме, что обуславливает выработку зубьев рулевой рейки. Более того, изнашивание зубьев рейки происходит неравномерно, т.к. срединные зубья находятся в зацеплении дольше, чем крайние. Износ зубьев рулевой рейки также приводит к люфтам, что влечет за собой нежелательные стуки в рулевом управлении. Общепринятый способ устранения люфтов – это подтяжка рулевой рейки с помощью регулировочного винта. Недостатком данного метода является ужесточение работы рулевого механизма при крайних положениях руля.

На сегодняшний день не существует системы, позволяющей автоматически регулировать усилие поджимного механизма в зависимости от угла поворота рулевого колеса. Эту роль может выполнить система, представленная на рис. 2.

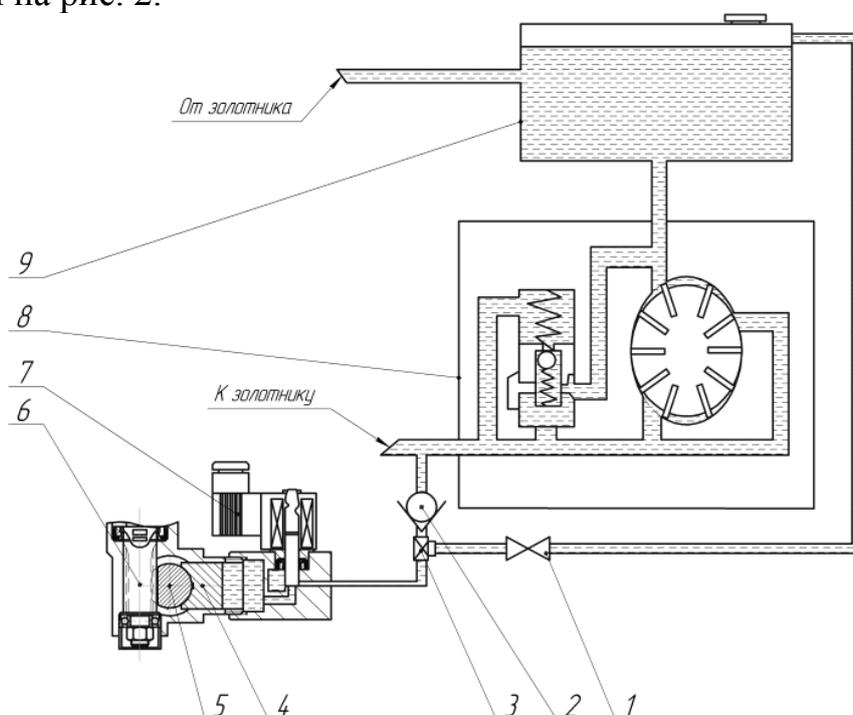


Рис. 2. Система автоматической регулировки усилия поджимного механизма рулевой рейки

Данная система будет интегрирована в систему гидроусилителя руля. Вал рулевой рейки (5, рис. 2) прижимается к шестерне (6) посредством поджимной втулки (4), на которую воздействует давление рабочей жидкости, подвод которой обеспечивается от гидросистемы рулевого управления через обратный клапан (2) и тройник гидравлический (3). Избыток рабочей жидкости отводится в бак гидроусилителя (9) через перепускной клапан (1). Давление рабочей жидкости через электрогидравлический клапан (7) регулирует электронный блок управления. Таким образом, предложенный механизм позволяет автоматически компенсировать износ рулевой рейки автомобиля.

### **Список литературы**

[1] *Вахламов В.К.* Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 560 с.

[2] *Вишняков Н.Н.* Устройство автомобиля. Системы управления – М.: МАДИ, 1973. – 43 с.

**Стрункин Денис Владимирович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: strunkindenis@gmail.com

**Плахов Сергей Александрович** – канд. техн. наук, старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sa.plahov@yandex.ru

Д.О. Королев, В.М. Алакин

## **РАЗРАБОТКА НЕСУЩЕГО КУЗОВА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПОСТОЯННЫМ ПОЛНЫМ ПРИВОДОМ НА ПРИМЕРЕ TOYOTA VENZA**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Данный автомобиль изначально проектировался для американского рынка, где так же и успешно продавался. После рестайлинга модель стала продаваться на европейском и российском рынках.

Одним из недостатков по сравнению с представленными конкурентными моделями автомобилей у Тойоты достаточно большой вес, достаточно простая и в тоже время морально устаревшая трансмиссия. Данные недостатки сказываются на потребительском спросе.

У данного автомобиля хорошие геометрические параметры кузова: как со стороны проходимости, так и со стороны внутреннего пространства. Для того чтобы устранить недостатки данного автомобиля и вернуть конкурентоспособность было принято решение о производстве студенческой научно-исследовательской работы по разработке компоновки несущего кузова легкового автомобиля из легких сплавов (сплавы алюминия, дюралевые сплавы) в виде поисковой НИР.

В результате научно-технических изысканий установлено, что автомобиль должен обладать постоянным полным приводом с роботизированной трансмиссией, с возможностью перераспределения крутящего момента по колесам автомобиля.

Конструкция коробки передач роботизированной трансмиссии (рис. 1) включает двухмассовый маховик, двойное сцепление, два ряда передач, главную передачу, дифференциал и систему управления. Конструктивные элементы помещены в корпус (картер) коробки.

Двойное сцепление обеспечивает передачу крутящего момента на первый и второй ряды передач. На шестиступенчатой коробке сцепление включает ведущий диск, соединенный через входную ступицу с маховиком, и две фрикционные многодисковые муфты, связанные через главную ступицу с рядами передач. Семиступенчатая коробка передач имеет два обычных фрикционных сцепления.

Первый ряд коробки обеспечивает работу нечетных передач и заднего хода, второй ряд отвечает за четные передачи. Каждый из рядов передач представляет собой первичный и вторичный валы с блоками шестерен. Первичные валы расположены соосно, при этом первичный вал второго ряда выполнен полым и надет на первичный вал первого ряда.

Шестерни на первичных валах имеют жесткое соединение с валом. Шестерни вторичных валов вращаются свободно. При этом шестерни первичного и вторичного валов находятся в постоянном зацеплении. Между шестернями вторичного вала расположены синхронизаторы, которые осуществляют включение конкретной передачи. Для выполнения реверсивного движения в коробке передач предусмотрен промежуточный вал с шестерней заднего хода. На вторичных валах также расположены ведущие шестерни главной передачи.

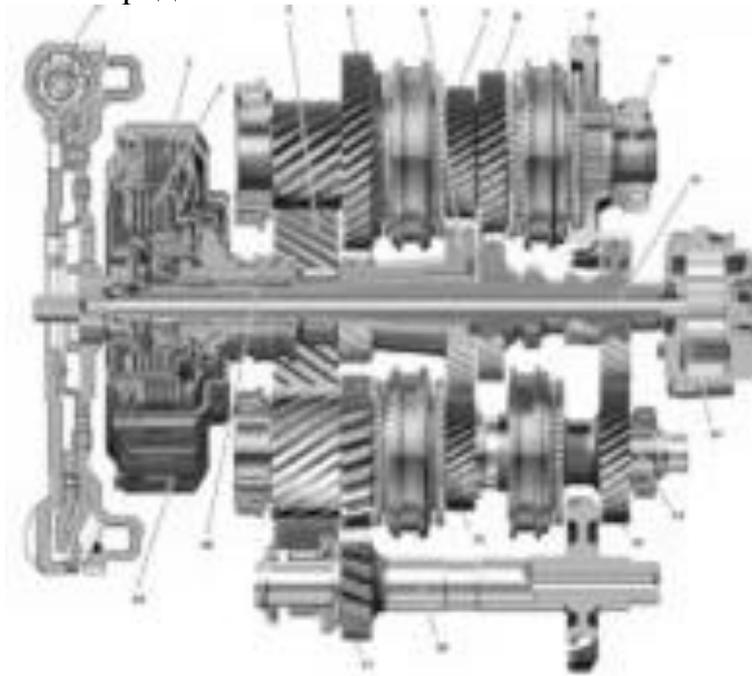


Рис. 1. Схема роботизированной трансмиссии

Непосредственное управление сцеплением и переключением передач обеспечивает система управления. Она включает входные датчики, электронный блок управления и электрогидравлический блок в качестве исполнительных механизмов. Электронный и электрогидравлический блоки управления, а также практически все входные датчики, объединены в единый модуль, имеющий название Mechatronic. Модуль управления располагается непосредственно в картере коробки передач.

Еще одним перспективным конструктивным предложением является установка электрического привода насоса системы охлаждения ДВС, что позволит более точно регулировать температуру двигателя, и, следовательно, получать большую мощность. Также автомобиль будет быстрее прогреваться в зимний период, так как возможно полное отключение циркуляции охлаждающей жидкости.

Автомобиль должен иметь современную активную и пассивную безопасность, например, для активной безопасности обязательным элементом является установка электронной системы стабилизации движения (ESP). Данная система путем притормаживания отдельных колес стабилизирует

автомобиль в момент опасности возникновения заноса или переворачивания. ESP работает в комплексе с антиблокировочной тормозной системой (ABS), которая притормаживает колеса и исключает движение автомобиля юзом. К пассивной безопасности стоит отнести создание объемной защитной среды для сохранения жизни и здоровья людей, находящихся в транспортном средстве во время дорожно-транспортного происшествия. Элементами безопасности должны быть силовая «клетка» салона, сделанная из сверхпрочной стали, мощные брусья в дверях, не дающие им сминаться. Относительно податливыми необходимо изготавливать специальные зоны, за счет деформации которых и будет гаситься скорость. Моторный отсек и багажник являются зонами запрограммированной деформации. В этих зонах необходимо установить демпфирующие балки, которые при смятии поглощают энергию удара. Чтобы при столкновении двигатель не нанес вред водителю и пассажирам его опоры и моторный щит требуется делать так, чтобы он смещался как можно ниже или выпадал вниз, не нанося салону никакого вреда. Еще одним немаловажным элементом безопасности является энергопоглощающая складывающаяся рулевая колонка и ломающийся кронштейн педального узла. Они позволяют избежать повреждения конечностей водителя. Применение ремней безопасности и подголовником является обязательным элементом безопасности любого автомобиля. Они позволяют удержать человека в момент столкновения. Также подушки безопасности предотвращают удары человеческого тела об элементы конструкции автомобиля. Подушки используются как при лобовом, так и при боковом столкновении. В случае наезда на пешехода внешние подушки раскрываются в местах наиболее вероятного контакта человека с автомобилем (перед бампером, у кромки капота). Капот тоже необходимо спроектировать специальным образом, чтобы он смог максимально безвредно «принять» на себя пешехода.

Разработка несущего кузова комбинированной конструкции легкового автомобиля с постоянным полным приводом является важным этапом развития автомобильной промышленности. Данные модернизации можно использовать практически на любом автомобиле, что дает возможность многим производителям это использовать.

### Список литературы

[1] Роботизированная трансмиссия. URL: <http://systemsauto.ru/box/robot.html> (дата обращения 02.04.2017)

[2] Комбинированный несущий кузов легкового автомобиля. URL: <http://www.kolesa.ru/article/krylatyj-nastupaet-pochemu-kuzova-mashin-budushhego-budut-alyuminievymi-i-chem-eto-chrevato> (дата обращения 02.04.2017)

**Алакин Виктор Михайлович** – канд. техн. наук, зам. директора по инновациям КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [aser.work@yandex.ru](mailto:aser.work@yandex.ru)

**Королев Даниил Олегович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [danoyk@outlook.com](mailto:danoyk@outlook.com)

А.Ю. Андросов, Б.П. Садковский

## ТЕХНОЛОГИЯ ЗАМЕДЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЕМКОСТИ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Современные методы модернизации аккумуляторных батарей способны существенно повысить их емкость до 600 А·ч, меняя основные составляющие химической окислительно-восстановительной реакции источника, либо конструктивно модернизируя систему аккумуляирования и использования электроэнергии автомобиля.

Основополагающим и массово используемым типом батарей являются литий-ионные аккумуляторы, обладающие оптимальной для применения электромобилем емкостью энергии 350 А·ч, плотностью энергии 250 Вт·ч/л, малой массой, сравнительно небольшими габаритами и оптимальным временем заряда 4 – 5 часов. Как и батареи-аналоги повышенной емкости данный тип аккумулятора обладает характерным недостатком – быстрой потерей имеющейся емкости (таблица 1), что снижает функциональную и потребительскую способность для крупной реализации на практике.

Таблица 1. Срок службы «Li-ion» батареи при  $t = 20^{\circ}\text{C}$

Глубина разряда, %	Количество циклов заряд-разряд
100	500
50	1500
25	2500
10	4700

Вдобавок ко всему данные аккумуляторы теряют часть своей емкости в статичном состоянии. По прошествии года хранения имеющийся ресурс сокращается на 6 – 9%, больше года – на 17 – 28%.

Частичным, но вполне реальным выходом из сложившейся ситуации может стать внедрение кремниевых элементов в анодную структуру аккумулятора. Кремний является благоприятно согласующейся составляющей в связи с литием и его компонентами. Необходимым условием является сохранение литий-ионной основы батареи, являющийся базисом современного аккумуляирования электроэнергии.

Исследованием и созданием анодов на основе кремния продолжительное время занимается категория профессорского состава из Университета Стэнфорда. На современной стадии изучения реализованы лабораторные образцы стабильных к разрушению анодов кремния. Важность данной технологии обусловлена трехкратным увеличением размеров первичных молекул кремния в ходе заряда батареи, что приводит к их дестабилизации и распадению на отдельные составляющие, что в свою очередь ведет к по-

тере емкости на 0,2% при каждом цикле заряда. Также в процессе активации молекул кремния происходит реакция с электролитом, в итоге которой частицы покрываются оболочкой, ухудшая свою анодную электропроводность и, следовательно, эксплуатационные характеристики литий-ионного аккумулятора.

Предотвратить объемное увеличение и распад кремния в данной ситуации невозможно, но исследователями предложен способ физической стабилизации механизма аккумуляции энергии путем инкапсулирования молекул в искусственно сформированную оболочку (рисунок 1).

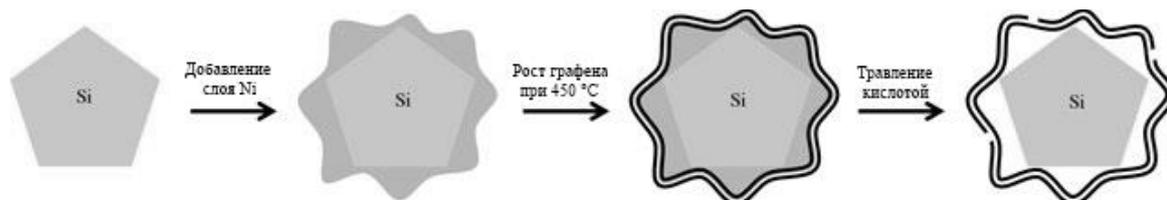


Рис. 1. Процесс заключения анодных молекул кремния в графеновую оболочку

Предложенный способ исключения недостатков поведения первичных и не до конца приспособленных к аккумулятивно-накапливающим реакциям молекул кремния заключается в их обволакивании слоем никеля, в дальнейшем служащим катализатором реакции роста графена, в результате которой образуется стабильная к распаду графеновая пленка. Завершающим этапом операции служит вытравливание никеля, который свободно растворяется в кислоте, оставляя лишь молекулу кремния, заключенную в графеновую оболочку. Результатом обработки всех молекул анода получается компактно взаимосвязанная структура графеновых оболочек и расположенных внутри молекул кремния.

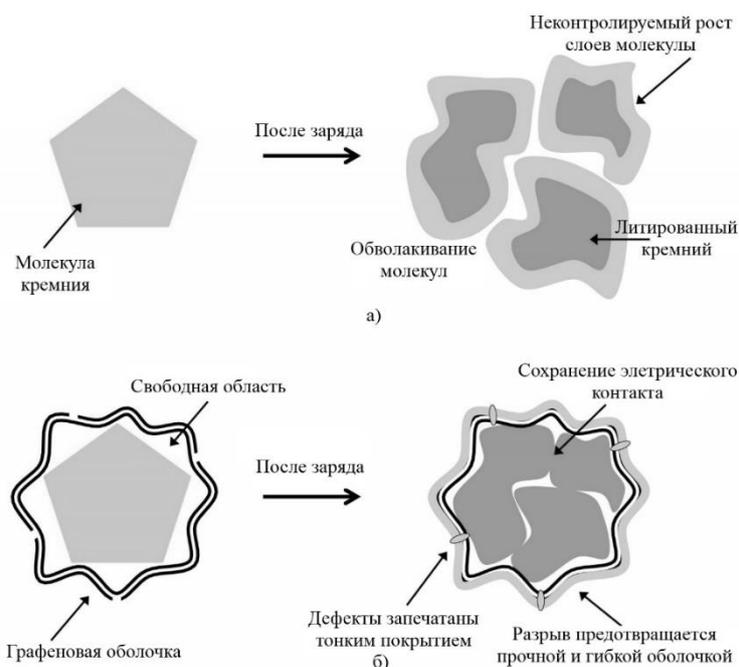


Рис. 2. Сравнительный вариант поведения анодной молекулы: *а* – при наличии удерживающей оболочки; *б* – без нее

Ограничивающий графеновый слой предотвращает неконтролируемый рост и дальнейшее распространение молекулы анода в электролите (рисунок 2).

Данная заключающая пленка по своим физико-механическим свойствам является довольно стойкой к разрушению и одновременно сочетает в себе свойство эластичности, что ведет к стабилизации анодной структуры аккумулирующей батареи электромобиля. Полностью герметизировать данный слой нецелесообразно из-за ухудшения химических реакций с электролитом аккумулятора, поэтому при вытравливании необходимо оставлять свободные полости в оболочке, но при этом предотвращается излишний вредоносный процесс обволакивание молекулы электролитом. Таким образом, анодные молекулы кремния в процессе заряда, увеличиваясь приблизительно в 3 раза, остаются непосредственно в зоне электрического контакта между собой, тем самым сохраняя емкость батареи, что в свою очередь ведет к повышению циклов заряда-разряда литий-ионной батареи в совокупности в несколько раз (таблица 2).

Таблица 2. Срок службы батареи с кремниевым анодом при  $t = 20^{\circ}\text{C}$

Глубина разряда, %	Количество циклов заряд-разряд
100	1600
50	4800
25	8000
10	15040

Наглядное представление о локальном процессе заряда кремниевой анодной молекулы, заключенной в графеновую оболочку под электронным микроскопом продемонстрировано на рисунке 3.

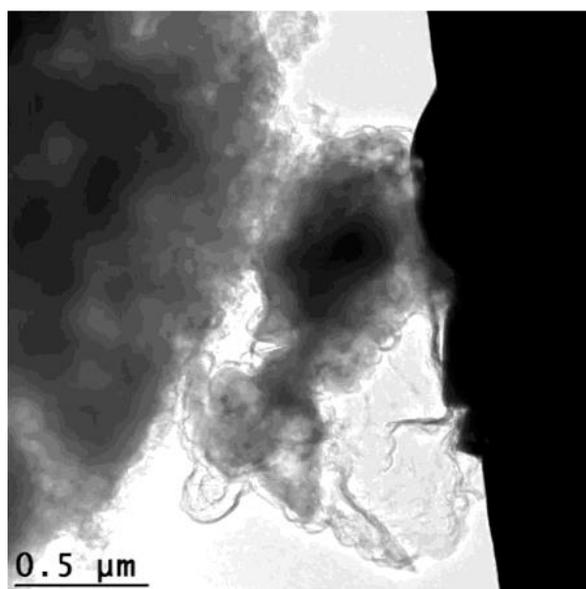


Рис. 3. Процесс заряда кремниевой анодной молекулы в графеновую оболочку

Данная инновационная технология бесспорно предотвращает быструю потерю емкости аккумулятора, но в свою очередь молекулы анода остаются заключенными в локальной зоне контакта и не дистанцируются друг от друга. С учетом этого явления можно судить о возможности повышения плотности энергии батареи, а, следовательно, и о потенциальном повышении и самой емкости. При фиксированных значениях данных показателей возможно снижение массы и габаритов аккумулятора.

В конечном итоге, основополагающие проблемы технологической реализации источников электроэнергии, связанные с увеличением и сохранением их емкостных характеристик, вполне преодолимы и на данный момент носят актуальный и результативный характер, что в свою очередь заставляет задуматься о приоритете использования электротехнического транспорта в качестве альтернативного.

### Список литературы

[1] *Андросов А.Ю., Садковский Б.П.* Двигатель будущего // Материалы всероссийской научно-технической конференции «Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе». Т.3. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – С. 93 – 97.

[2] *Андросов А.Ю., Садковский Б.П.* Современный способ увеличения емкости источников электроэнергии // Материалы региональной научно-технической конференции «Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе». Т.2. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – С. 47 – 51.

[3] *Андросов А.Ю., Садковский Б.П.* Модернизации источников электроэнергии // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – М.: Изд-во: Научно-информационный издательский центр и редакция журнала «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных Наук», 2016. – № 7–5. – С. 82–86. ISSN: 2073–0071.

[4] *Андросов А.Ю., Садковский Б.П.* Бесконтактные способы восстановления электроэнергии // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – М.: Изд-во: Научно-информационный издательский центр и редакция журнала «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук», 2016. – № 11–4. – С. 31–36. ISSN: 2073–0071.

[5] SLAC – Stanford University. Web: [www.slac.stanford.edu](http://www.slac.stanford.edu)

**Андросов Алексей Юрьевич** - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: [armogen99@gmail.com](mailto:armogen99@gmail.com)

**Садковский Борис Петрович** - д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [bsadk@yandex.ru](mailto:bsadk@yandex.ru)

Д.В. Стрункин

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Идеальная автомобильная подвеска должна мягко поглощать дорожные неровности и плавно возвращаться в нормальное положение при сохранении пятна контакта шины с дорогой.

Однако этого результата сложно добиться, т.к. мягкий упругий элемент допускает слишком большое перемещение, а жесткий вызывает дискомфорт у пассажиров из-за неровностей дороги.

Предполагается, что общий комфорт улучшится, если выполнены следующие условия:

1) колебания, передаваемые от дороги на вестибулярный аппарат человека, не превышают 1 Гц, иначе при 3-5 Гц может возникнуть морская болезнь;

2) колебания головы человека в поперечном направлении не должны превышать 2-8 Гц, иначе заметно резкое увеличение амплитуды движений головы [1].

Следовательно, подвеска должна минимизировать частотную характеристику ускорения поддрессоренной массы в диапазоне частот от 0,2 до 10 Гц, обеспечивая при этом курсовую устойчивость при маневрировании.

Для регистрации воздействий со стороны дороги используют различные виды датчиков, таких как: скорости, ускорения, силы и угла крена. На основе данных измерений можно оценить точное состояние внешних условий, что позволит контролировать работу подвески [2].

В выполнении перечисленных выше требований электромеханическая подвеска фирмы Bosc опережает остальные виды подвесок. В ее конструкции применяется упругий элемент, созданный на основе линейного электродвигателя (ЛЭ) (рис. 1).

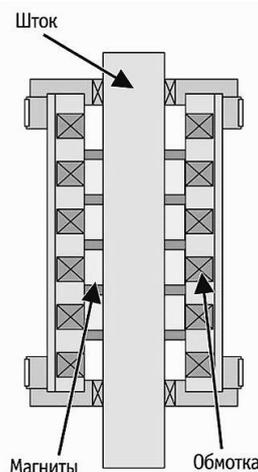


Рис. 1. Упругий элемент подвески Bosc

Мощный ЛЭ устанавливается на место телескопического амортизатора и заменяет собой его, пружину и поперечный стабилизатор. Под контролем центрального процессорного устройства (ЦПУ) на электродвигатель подается напряжение, и на его штоке возникает выталкивающее усилие.

Линейные электродвигатели поддерживают заданную высоту шасси независимо от нагрузки. Быстродействующие ЛЭ берут на себя и динамическую компенсацию: ограничивают боковой крен автомобиля (рис. 2), а также устраняют продольные «клевки» при разгоне и торможении. Центральное процессорное устройство контролирует каждый из четырех ЛЭ индивидуально. ЛЭ не только берут на себя функции упругих элементов подвески, но и демпфируют колебания, достигается высочайшая плавность хода на покрытиях самого разного качества при поддержании высокой управляемости.



Рис. 2. Сравнение поведения автомобиля со стандартной подвеской (а) и подвеской Bose (б) в повороте

К недостаткам данного типа подвесок можно отнести следующие факторы: амортизаторы Bosc в два раза тяжелее классических амортизаторов. При работе амортизаторы нагреваются. Для решения данной проблемы на амортизаторы устанавливаются радиаторы, но они не отводят достаточного количества тепла. Также предполагается, что из-за отсутствия кренов в поворотах, водители не смогут почувствовать грань сцепления колес с дорогой, что приведет к сносу автомобиля [3].

Для решения проблем теплоотводом предлагается использовать линейный электродвигатель с системой охлаждения (рис. 3), содержащий статор, якорь и подвижный элемент воздушного охлаждения, образующий замкнутую воздушную полость переменного объема, сообщающуюся с окружающим пространством через каналы в активных элементах двигателя. С целью упрощения конструкции и повышения надежности, подвижный элемент воздушного охлаждения выполнен в виде гибкой диафрагмы, закрепленной по периметру на статоре.

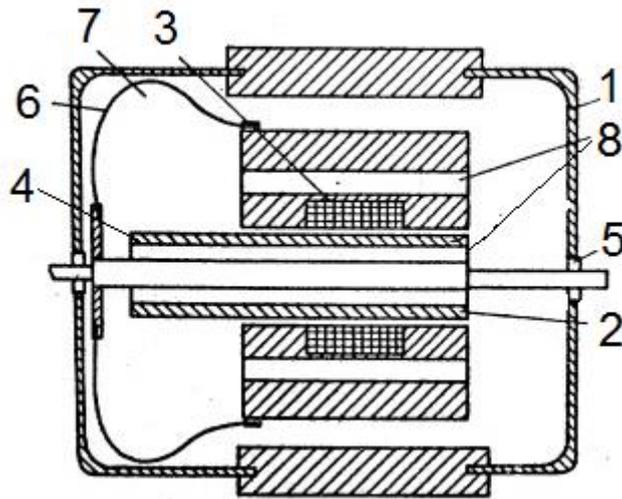


Рис. 3. Линейный электродвигатель с системой охлаждения

Охлаждение линейного электродвигателя осуществляется следующим образом: при рабочем движении якорь 4 совершает возвратно-поступательное движение, заставляя перемещаться связанную с ним диафрагму 6, из-за чего изменяется объем воздушной полости 7, воздух втягивается или вытесняется из каналов 8, охлаждая активные части машины [4].

#### Список литературы

[1] *Rance G.R.* Head movement induced by angular oscillation of the body in the pitch and roll axes / *B.H. Rance* // *Aviat. Space Environ. Med.* – 1975. – Vol. 46, № 8. – pp. 987–993.

[2] *Sijs J.* Vehicle motion-state-estimation using distributed sensing / *Z. Papp, P. Bosch* // *IEEE Intell. Vehicles Symp.* – 2008. – pp. 458–463.

[3] *Терентьев И.* Куда «катятся» амортизаторы / *И. Терентьев* // *Auto-Expert.* – 2012. – № 11. – С. 1-2.

[4] FindPatent.ru: [Электронный ресурс], 2012-2017. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/152/1522357.html> (Дата обращения: 26.03.2017).

**Стрункин Денис Владимирович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [strunkindenis@gmail.com](mailto:strunkindenis@gmail.com)

**СЕКЦИЯ 9.**

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ,  
ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТЫ**

Н.Ю. Васильчук, Ф.Л. Чубаров

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ БЫСТРОЗАПОРНОГО КЛАПАНА-ЗАХЛОПКИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

### Введение

Защитная арматура – вид трубопроводной арматуры, предназначенный для защиты технологических систем, оборудования, трубопроводов, насосов и сосудов под давлением от возникновения или последствий аварийных ситуаций. В результате эксплуатации могут возникать различные проблемы, обусловленные неисправностями оборудования, неправильным ведением технологического процесса, другими сторонними факторами. Они могут повлечь за собой гидроудары при внезапном изменении потока среды на обратный, что может привести к поломке насосов и других устройств. Также при повреждении или разрушении трубопроводов, или оборудования систем, если не ликвидировать или ограничить течь защитной арматурой, можно нанести серьезный вред производственным помещениям, персоналу, экологии окружающей среды, в особенности в случае применения в системе взрыво- и пожароопасной, токсичной или радиоактивной рабочей среды.

### Устройство и принцип работы клапана

Устройство клапана показано на рисунке 1.

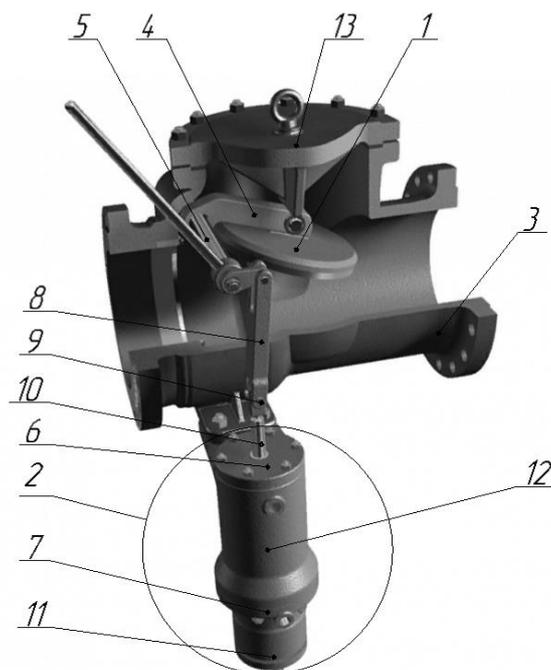


Рис. 1. Устройство клапана

КЗ состоит из парового клапана (захлопки) (1), гидропривода (2) для принудительного открытия и закрытия захлопки.

Паровой клапан смонтирован в стальном корпусе (3) и состоит из захлопки (1), подвешенной на рычаге (4), неподвижно закрепленном на шпинделе (5). Шпиндель вращается в подшипниках. На конце шпинделя (5) надет и жестко закреплен зубчатый сектор, обеспечивающий поворот шпинделя.

Гидравлический привод состоит из цилиндра, поршня со штоком (10), пружины и рейки (8). С одной стороны, цилиндр привода закрыт фланцем (6), с другой стороны к цилиндру присоединен ускоритель (11) через проставку (7).

Рейка (8), соединенная со штоком (10), серьгой (9), совершает возвратно-поступательное движение в расточке корпуса (3).

В корпусе ускорителя (11) размещается втулка с четырьмя отверстиями, зафиксированная стопорным винтом. Во втулке передвигается поршень ускорителя, который передвигается под действием пружины.

Масло высокого давления из системы защиты подводится в полость ускорителя (11), в результате чего поршень ускорителя, сжимая пружину, отходит и открывает отверстие, через которое масло поступает в камеру цилиндра (12). Сила давления масла преодолевает усилие пружины цилиндра (12) привода, и поршень со штоком (10) перемещается до упора. В процессе перемещения штока (10) рейка (8) поворачивается, и захлопка (1) открывается [1].

В случае срабатывания защиты в камере ускорителя (11) открываются окна и масло быстро сливается из гидропривода в маслобак. Силой пружины поршень начинает перемещаться и захлопка (1), поворачиваясь и попадая в поток пара, быстро захлопывается. Чтобы предотвратить удар захлопки (1) о седло, в поршень ввернут демпфер, который в конце движения поршня входит в проставку, замедляя движение захлопки.

В крышке (13) имеется штуцер с фланцем. На стенде к этому фланцу подсоединяется байпасная линия КЗ.

Общие положения и условия проведения испытаний

Исследование КЗ будет проводиться на специальном стенде, схема которого приведена на рисунке 2. КЗ располагался в горизонтальном положении на специальной опоре.

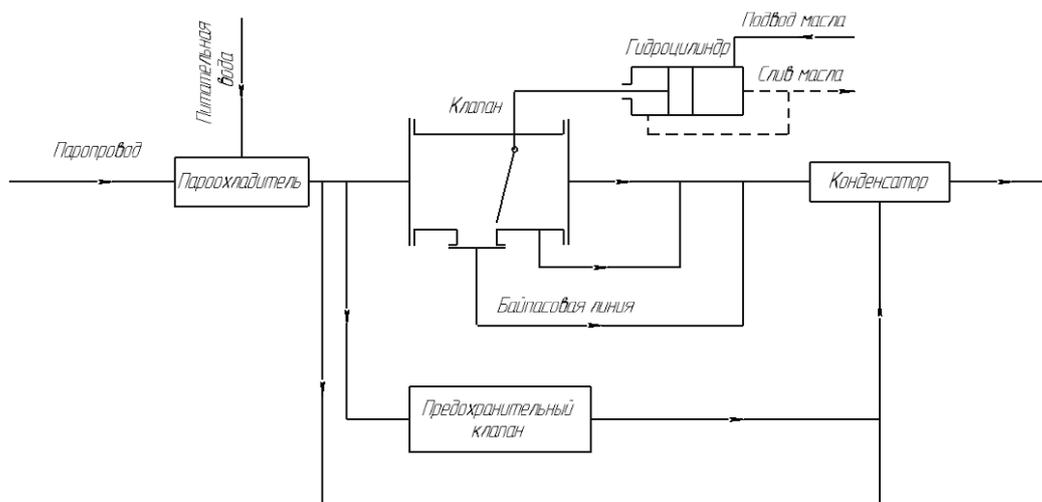


Рис. 2. Схема испытательного стенда

Испытания клапана будут проводиться на паре, имеющем температуру близкую к натурной  $t=238^{\circ}\text{C}$ . Температура пара регулируется впрыском питательной воды в пароохладитель. Предохранительный клапан был настроен на срабатывание при давлении 0,75 МПа.

Для повышения стабильности параметров пара перед испытываемой захлопкой, схема предусматривает возможность сброса части пара из стенового паропровода в конденсатор минуя захлопку. Это позволяет при переменном расходе пара через захлопку иметь постоянный расход пара на стенд. В результате можно быстро устанавливать необходимый режим работы захлопки не тратя время на регулировку параметров пара. Система подготовки пара спроектирована таким образом, что при давлении в 0,6 МПа и закрытом клапане через него осуществлялся проток пара в количестве 2,8 т/ч, при этом отвод пара из корпуса клапана осуществляется через дренажный штуцер и байпасную линию [2].

Схема паропровода выполнена так, чтобы по байпасной линии минуя седло клапана всегда проходила 1,8 т/ч пара. Это сделано для того, чтобы при открытии или закрытии клапана параметры приготовленного пара изменялись не очень сильно.

### Список литературы

[1] Д.Ф. Гуревич Расчет и конструирование трубопроводной арматуры: Расчет трубопроводной арматуры. Изд. 5-е. – М.: Издательство ЛКИ, 2008.

[2] Трухний А.Д., Ломакин Б.В. - Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки - М.: Издательство МЭИ, 2002. – С. 167.

**Васильчук Николай Юрьевич** – техник-конструктор ОАО "КТЗ".  
E-mail: vasilchuknicolay@gmail.com

**Чубаров Федор Леонидович** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedor1966chub@yandex.ru

А.Н. Маклачков, Н.Г. Родионов

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН АВАРИИ ГАЗОДОЖИМНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Газодожимная компрессорная установка (ГДКУ) используется в качестве одного из основных конструктивных элементов в составе обслуживающих систем энергоблока с газотурбинной установкой (ГТУ), предназначена для обеспечения подачи подготовленного топливного газа на ГТУ типа ГТЭС-25П.

Основным элементом ГДКУ служит маслonaполненный двухвальный винтовой компрессор.

Принцип работы винтовых компрессоров заключается в использовании сжатия среды при помощи двух роторов с винтовыми зубьями, взаимодействующих друг с другом. Исходный газ поступает в камеру всасывания, затем происходит запираение газа в пространстве между стенками корпуса и винтовой пары. В сжимаемый газ поступает масло, которое используется для смазки винтовой пары и подшипниковых узлов, а также для отвода теплоты, выделяемой при сжатии газа. Масло также играет роль дополнительного масляного уплотнения, что увеличивает герметичность системы при работе компрессора.

Основной режим работы компрессорного оборудования круглосуточный, с параметрами, на частичных нагрузках, в зависимости от работы ГТУ. Производительность компрессора определяется текущими технологическими потребностями ГТУ. [1]

Перед возникновением аварии ГДКУ была включена в действие. Но уже через час произошла остановка ГДКУ при срабатывании автоматической защиты по сниженному давлению масла на входе в компрессор. Повторные попытки запуска ГДКУ были unsuccessful.

После разборки были выявлены повреждения наиболее важных деталей компрессора и элементов ГДКУ:

1. На корпусных поверхностях компрессора обнаружены многочисленные продольные риски, в виде царапин и задиров, в зоне перемещения вторичного и первичного золотников. Длина поверхности, получившей повреждения составляет 200...250 мм, практически на всей длине хода золотников.

2. Внешний поршень гидравлической системы регулирования имеет продольные задиры различной глубины, примерно на 25% рабочей поверхности поршня. Наружное уплотнительное кольцо внешнего поршня имеет продольные царапины. Обнаружены выкрошенные металлические частицы на наружной поверхности поршня по всему диаметру, на крайней части поверхности поршня.

3. Первичный золотник имеет многочисленные повреждения наружной поверхности в виде продольных царапин, выбоин, раковин, каверн по всей площади, глубиной до 1,5 мм. В масляных пазах присутствует металлическая стружка, металлические крошки на рабочей поверхности.

4. На внутренней части крышки торцевого уплотнения присутствует ржавчина.

5. На внутренней неподвижной части уплотнения присутствует кусочек белого металла.

6. На подвижной части уплотнения выявлено выпирание уплотнительного кольца графитовой части. На внутренней поверхности подвижной части уплотнения выявлен налет темного цвета. Выявлено повреждение фиксирующего паза и последующее смещение графита в торцевом уплотнении.

Газопровод высокого давления до ГДКУ рассчитан на подачу газа с параметрами - давление газа 0,6 МПа, температура газа от минус 5°C до +25°C. После ГДКУ параметры газа по проекту должны быть в следующем диапазоне: давление 4,2...4,5 МПа; температура +5...+50°C.

В оставляемом природном газе имеется влага, средняя величина влагосодержания в газе получится около  $0,124 \text{ г/нм}^3$ .

Марка применяемого синтетического масла для ГДКУ – MobilGlygoyle 11. Особо отметим важную особенность синтетических масел семейства MobilGlygoyle. *Они обладают очень хорошей гигроскопичностью и не отделяют воду.* Благодаря присущему им высокому удельному весу, вода не отделяется и не оседает на дно маслобака.

Главная первопричина возникновения аварии ГДКУ кроется в постепенном *обводнении масла*, происходившем при эксплуатации установки. Причем подобное развитие аварии ГДКУ возможно и на других ТЭЦ, если используется аналогичное оборудование и не предприняты меры по отсутствию воды в составе масла.

В системе подготовки топливного газа не предусмотрено конструктивных мер по тщательному удалению воды, находящейся в любом фазовом состоянии (пар, аэрозоль, капельная жидкость), из состава поступающего природного газа.

Благодаря высокому удельному весу масла –  $1,009 \text{ г/см}^3$ , вода (плотность  $1 \text{ г/см}^3$ ) не отделяется от масла и не оседает на дно маслобака. [2]

В первой ступени сепаратора, где в поле центробежных массовых сил в закрученном потоке смеси масла, воды и газа, производится отделение газовой фазы из смеси, вода не может быть отделена. Причиной этого является практически одинаковое значение плотности масла и воды.

Если вода будет находиться в виде аэрозоли, то возможно будет происходить ее частичный унос вместе с газом из сепаратора, далее в последующие элементы системы газоснабжения ГТУ.

В чем же заключается негативное влияние обводнения масла на работу оборудования, гидравлических систем, в которых используются масла?

В масляных системах при разложении присадок образуются липкие отложения, забивающие маслофильтры, трубки и каналы, детали золотников в гидравлических системах регулирования, возникают повреждения арматуры. Особенно быстро разрушаются самые активные присадки, имеющие способность поглощать влагу из состава масла или газа.

И главное здесь не только в том, что при контакте масла с водой уменьшается количество присадок, а изменения химического состава присадок.

Из-за изменений химического состава и разрушения присадок ухудшаются качественные характеристики масла, они теряют смазывающие, антифрикционные, противозадирные, моюще-диспергирующие и другие качественные свойства. При этом износ взаимодействующих пар трения существенно увеличивается, трущиеся поверхности повреждаются, вплоть до возникновения задиров металла, заеданий деталей и отказа работы технических устройств.

### Список литературы

[1] Иноземцев, А.А. Эффективное использование топлива и энергосбережение при производстве электроэнергии и тепла за счет использования газотурбинных технологий /А.А. Иноземцев// Энергосбережение. – 2001. - №2 (16) – С. 7-12.;

[2] Денисова А.Е., Мазуренко А.С., Денисова А.С. Повышение эффективности взаимодействия парогазовых когенерационных установок с системой теплоснабжения. Одесса, Изд-во: Одесский национальный политехнический университет, 2015, 95 с.

**Маклачков Андрей Николаевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: maklachckov.andrei@yandex.ru

**Родионов Николай Георгиевич** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k2kf@bmstu-kaluga.ru

Е.Н. Ильдияров, А.Н. Сизов

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

### Введение

Высокие эксплуатационные характеристики РВП, рассмотренные ранее [1], позволяют применить ее для обеспечения управления частотой вращения ротора паровой турбины за счет управления гидромеханическим следящим приводом ее паровпускных регулирующих клапанов дроссельного типа. Систему управления при этом следует рассматривать состоящей функционально из двух частей – электронной управляющей (ЭУЧ) и исполнительной гидравлической (или гидромеханической – ГМЧ). Подобные электрогидравлические системы (ЭГСАР) получили широкое распространение зарубежом, начиная с 90-х гг. прошлого века, в нашей стране они активно внедряются с 2000-х годов, однако, комплектуются в основном из импортного оборудования.

Типовая система автоматического регулирования скорости турбопривода - электрогидравлическая, как правило, состоит из двух функциональных частей: электронной управляющей и гидромеханической исполнительной. [4]

Принципиальная полуконструктивная схема такой системы регулирования показана на рисунке 1.

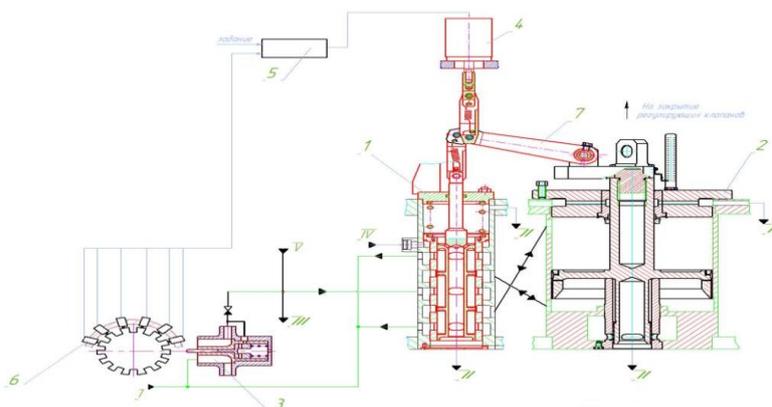


Рис. 1. Принципиальная схема системы регулирования с ЭУЧ ЭГСАР

Гидромеханическая исполнительная часть состоит из блока регулирования (гидропривод регулирующего паровпускного клапана турбины) и парораспределения турбины. В блоке регулирования сконструированы отсечной золотник (ОЗ) и сервомотор (СМ) – классический гидравлический следящий привод с перекрестными обратными связями и управлением СМ по отклонению положения ОЗ от нейтрального.

При изменении частоты вращения ротора турбопривода сигнал от датчика частоты вращения 6 поступает в электронное управляющее устройство 5, которое формирует в соответствии с заданным алгоритмом регулирования управляющий сигнал на электромеханический преобразователь (ЭМП) 4, установленный на отсечном золотнике 1. Электромеханический преобразователь преобразует управляющий электрический сигнал в поступательное перемещение выходного штока, который через рычаг 7 перемещает отсечной золотник 1.

### 1 Математическая модель блока регулирования с ЭМП и ОЗ

Согласно требованиям, предъявляемым к качеству процессов регулирования, следящий привод отсечного золотника должен обеспечивать высокую скорость перемещения отсечного золотника (до 0,25 м/сек). Ошибка достижения заданного положения отсечного золотника не должна превышать его зоны нечувствительности по гидравлике. Перемещение отсечного золотника с помощью электромеханического следящего привода должно иметь характер, близкий к монотонному (относительное перерегулирование более 30% нежелательно). Функциональная схема блока регулирования с ЭМП и ОЗ представлен на рисунке 2.

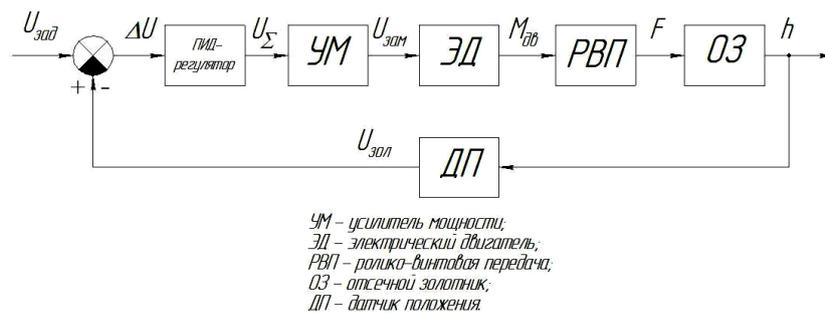


Рис. 2. Функциональная схема ЭМП

Входным сигналом модели является управляющий сигнал, поступающий в ЭМП от системы управления, выходным – перемещение штока ЭМП.

В качестве исполнительного двигателя в ЭМП применен электродвигатель RSM-M-24-92-50-С с преобразователем частоты без встроенного тормозного устройства

После выполнения алгебраических и дифференциальных преобразований с постоянными коэффициентами составленную выше математическую модель ЭМП можно представить в виде структурной схемы (Рисунок 3)

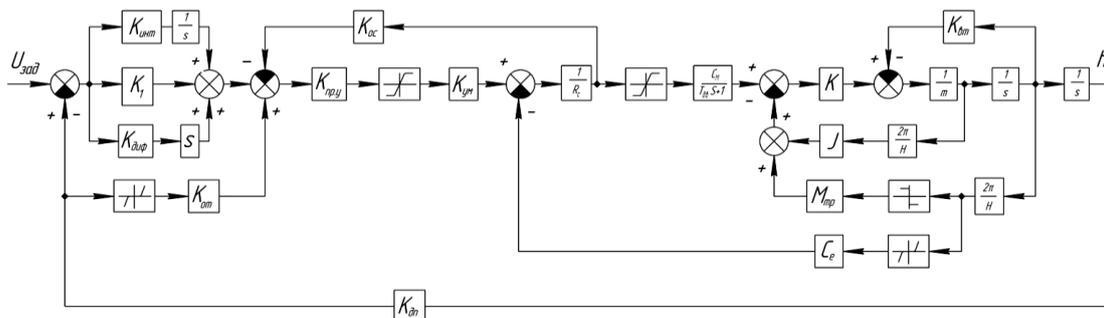


Рис. 3. Структурная схема ЭМП

## 2 Структурные преобразования и оценка устойчивости

В данной работе определение области устойчивости для модели достаточно выполнить с применением критерия Рауса, для чего необходимо определить ее передаточную функцию в изображениях по Лапласу[4].

Т.к. структурная схема ЭМП имеет достаточно сложную структуру, то ее необходимо привести к расчетному виду, т.е. упростить и сделать пригодной для дальнейшего анализа. Применяя метод структурных преобразований, можно получить эквивалент исходной структурной схемы в линейной постановке задачи, с точностью, достаточной для практического применения.

Для построения области устойчивости в пространстве назначенных варьируемых параметров с применением специализированного ПО [3] необходимо определить передаточную функцию разомкнутой системы с назначенными варьируемыми переменными  $a$  и  $b$ .

При этом практический интерес представляет принять в качестве варьируемых параметров коэффициенты настройки регулятора:

$$K_{инт} = a; K_1 = b.$$

Получаем структурную схему следующего вида:

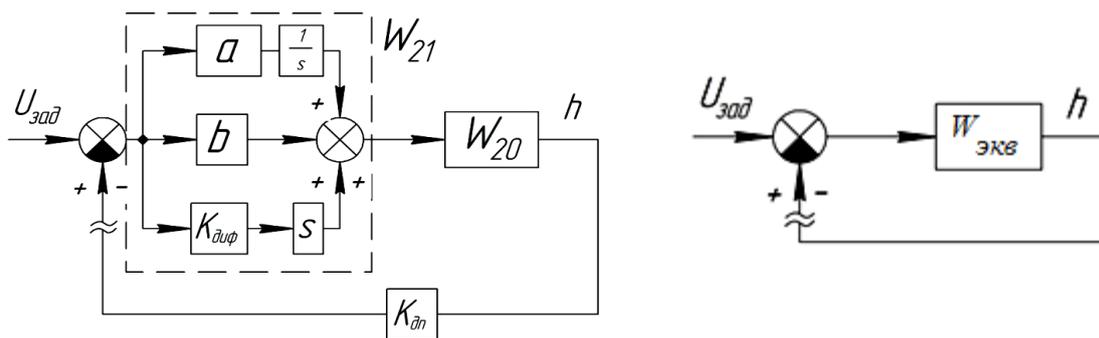


Рис. 4. Структурная схема с выделением варьируемых параметров

где

$$W_{21}(s) = \frac{K_{диф}s^2 + K_1s + K_{инт}}{s} = \frac{0,25s^2 + bs + a}{s}; \quad (2)$$

Эквивалентная передаточная функция:

$$\begin{aligned} W_{экв} &= W_{21}(s) \cdot W_{20}(s) \cdot K_{дн} = \\ &= \frac{2788s^2 + 11150 \cdot b \cdot s + 11150 \cdot a}{3,894 \cdot 10^{-5} \cdot s^4 + 1,084457 \cdot s^3 + 173 \cdot s^2 - 55750 \cdot s} = \frac{R(s)}{Q(s)} \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда характеристический полином замкнутой системы будет выглядеть следующим образом:

$$D(s) = Q(s) + R(s); \quad (4)$$

$$D(s) = 2788 \cdot s^2 + 11150 \cdot b \cdot s + 11150 \cdot a + 3,894 \cdot 10^{-5} \cdot s^4 + 1,084457 \cdot s^3 + 173 \cdot s^2 - 55750 \cdot s = a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0, \text{ где} \quad (5)$$

$$a_4 = 3,894 \cdot 10^{-5}; a_3 = 1,084457; a_2 = 2961; a_1 = 11150 \cdot b - 55750; a_0 = 11150 \cdot a.$$

Область устойчивости замкнутой системы, построенная в программе «Рауса»[3], будет выглядеть следующим образом (Рисунок 6):

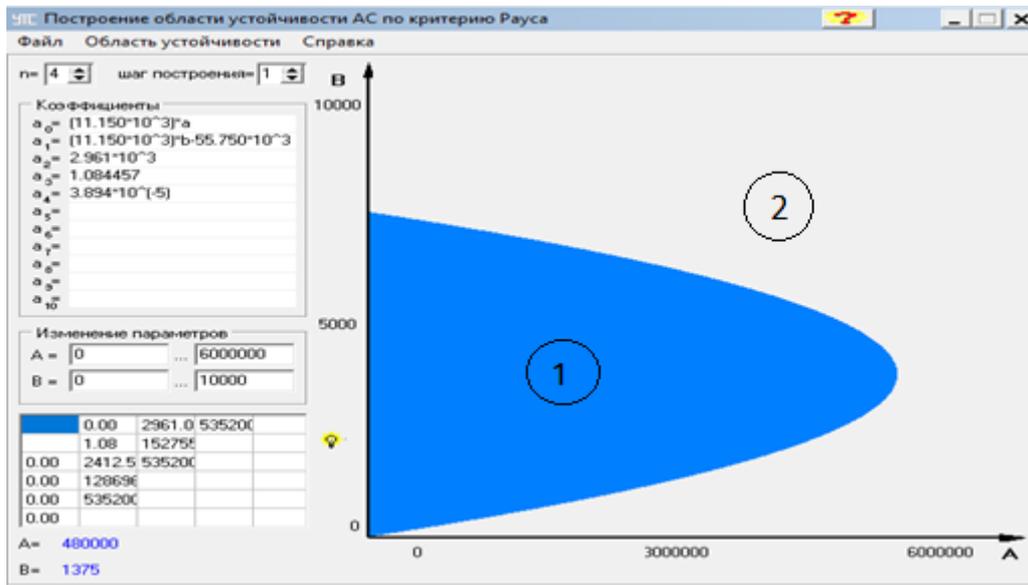


Рис. 5 – Область устойчивости АС по критерию Рауса, где 1 - область устойчивости системы; 2 - область неустойчивости системы

Построенная область устойчивости позволяет выполнить оценку параметров настройки модели, обеспечивающих ее устойчивую работу.

### 3 Анализ результатов

Область устойчивости данной замкнутой системы ограничена эллиптической кривой в примерном диапазоне значений:  $K_{инт} = [0 \div 5,05 \cdot 10^6]$

$$K_1 = [5 \div 7,4 \cdot 10^3]$$

Проверим полученные результаты графиками переходных процессов и подберем оптимальные значения коэффициентов настройки регулятора для данной системы.

Для этого можно выбрать 5-6 значений из определенной области устойчивости и проверить поведение системы по переходному процессу, построенному в Matlab(Simulink) [2]

Результаты исследования сведены в таблицу 2 и представлены на рисунке 7.

Таблица 1. Значение коэффициентов и результаты исследования замкнутой системы

№	$K_{инт}$	$K_1$	$t_{пер}, сек$	$\sigma, \%$
1	$1,5 \cdot 10^5$	400	0.045	30
2	$4,8 \cdot 10^5$	450	0.062	61
3	$1,23 \cdot 10^6$	1 150	0.05	71
4	$1,05 \cdot 10^6$	1 050	0.05	61
5	$5,05 \cdot 10^6$	3 675	---	---

Переходные процессы в системе с параметрами настройки регулятора №1-5 представлены на рисунке 6.

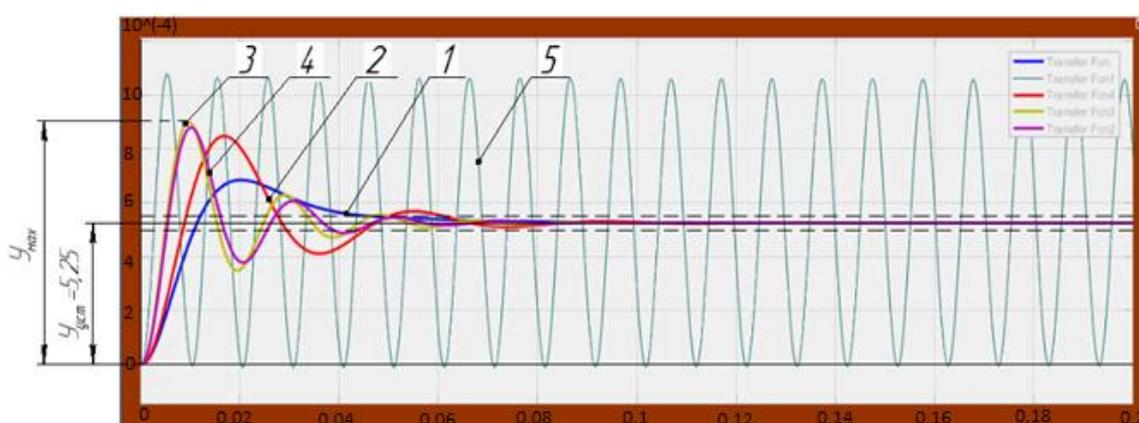


Рис. 6. Графики переходных процессов

Из представленных результатов видно, что наиболее оптимальные значения варьируемых параметров (коэффициентов регулятора) обеспечиваются в первом случае. Система переходит в установившееся значение с минимальными колебаниями за короткое время (0,045 сек.) удовлетворяющее требованиям ТЗ. При этом максимальное перерегулирование системы не превышает 30%.

На следующем этапе работ планируется уточнение параметров модели, а также применение процедуры автоматического поиска оптимальных параметров модели в ПО Matlab [2].

### Выводы

В результате выполнения данной работы было выполнено математическое моделирование, определена область устойчивости системы. На основе проделанной работы были определены оптимальные значения варьируемых параметров (коэффициентов настройки регулятора), благодаря которым система переходит в установившееся значение с минимальными колебаниями за короткое время, удовлетворяющее требованиям ТЗ.

### Список литературы

[1] Научно-технические технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 15-17 ноября 2016 г. Т.2. – Калуга: Издательство МГТУ им Н.Э. Баумана, 2016. - 248 с. (с. 150).

[2] Мироновский Л.А., Петрова К.Ю. Введение в Matlab. Учебное пособие. СПбГУАП. СПб., 2005

[3] Мусатов Е.А., Сизов А.Н. Лабораторная работа №2 по курсу «Управление в технических системах». КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003

[4] Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы инженерного синтеза сложных систем управления: аналитический аппарат, алгоритмы приложения в технике. Часть II. Вычислительно – аналитический эксперимент: аппарат матричных операторов и вычислительные технологии. – М.: Издательство МГТУ им Н.Э. Баумана, 2012. – 416 с.

**Ильдияров Евгений Николаевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 79190370518@yandex.ru

**Сизов Александр Николаевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры К2-КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sizov\_an@ktz.power-m.ru

В.В. Пашенко, О.Г. Шитохина, О.И. Зиновьева

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ТЕЧЕНИЯ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КАВЕРНЕ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Диагностика вихревых течений является важной для описания и понимания различных природных явлений и технологических процессов с закрученными потоками (улучшение аэродинамических характеристик летательных аппаратов и судов, создание вихревых технологий получения и преобразования энергии, минимизация воздействия вихревого следа роторных машин и др.). Важным фактором, оказывающим влияние на структуру течения, является перемещение вихревых структур и изменение их формы во времени, а также распад вихря, который обуславливается внезапной перестройкой структуры течения. Успешное решение практических проблем и создание техники нового поколения во многом зависит от разработки методов и средств, предназначенных для диагностики вихревых течений [1].

Изучению вихревого течения жидкостей посвящено множество теоретических и экспериментальных исследований. Это обусловлено распространенностью данной формы течений в природных условиях. В природных условиях наблюдаются различные типы вихрей с масштабами в несколько сотен километров, например, тайфуны или ураганы [2], в океане – вихри и кольцевые течения [3]. Вихревая форма течений часто организуется в промышленных устройствах для стабилизации физико-химических процессов (например, горения), охраны окружающей среды путем разделения компонент и извлечения твердых и жидких примесей [4]. Благодаря образованию вихревого течения возникает подъемная сила на крыльях, пропеллерах, лопатках турбин, судовых винтах.

В предыдущей работе нами рассматривалось двухмерное течение несжимаемой вязкой жидкости в квадратной каверне [5]. Целью настоящей работы является выполнение трехмерного моделирования течения несжимаемой вязкой жидкости вблизи одиночной каверны на цилиндрическом роторе. Моделируемая геометрия обусловлена необходимостью исследовать зависимость между геометрическими параметрами вихревой гидромашин с цилиндрическим ротором (рис. 1) и характером течения жидкости в ее проточной части. Для этого необходимо решить ряд простых задач, одна из которых рассматривается в данной работе.

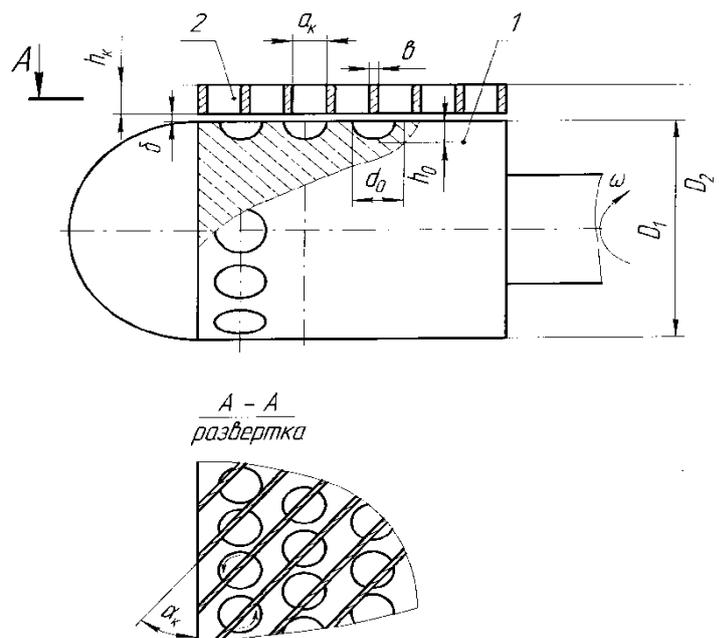


Рис. 1. Схема вихревой гидромашины с цилиндрическим ротором и неподвижными винтовыми каналами. 1 – цилиндрический барабан; 2 – винтовые каналы

Рассматривается модель ротора с глухим отверстием. Геометрия модели (рис. 2) представляет собой цилиндр диаметром 50 мм и высотой 200 мм с круглой каверной диаметром 10 мм и глубиной 10 мм. Отверстие расположено посередине цилиндра. Ротор находится в сплошной трубе диаметром 110 мм. На вход трубы подается несжимаемая жидкость – вода со скоростью 2 м/с.

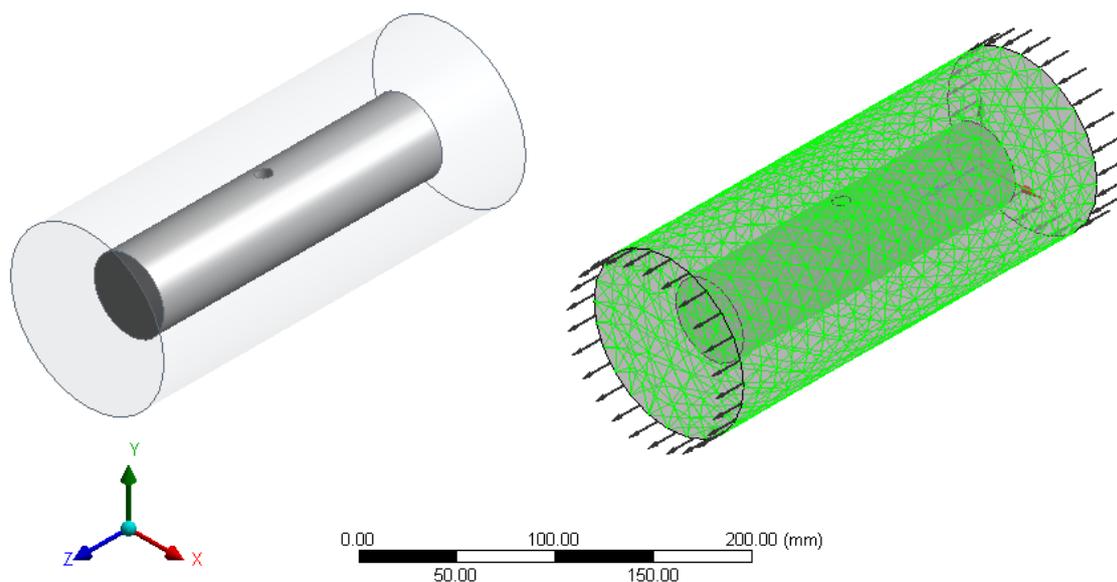


Рис. 2. Геометрия модели и граничные условия

В качестве основного инструмента моделирования был использован пакет конечно-элементного анализа ANSYS и модуль Fluid Flow (CFX). Конечно-элементная сетка насчитывает 7741 узел и 43695 тетраэдрических эйлеровых элементов. Для моделирования взаимодействия вращающегося твердого тела с потоком жидкости был применен метод «погруженного тела» (immersed solid).

Исследуются скорости потоков жидкости в плоскости симметрии модели вблизи каверны для двух расчетных случаев: неподвижный и вращающийся со скоростью 2950 об/мин ротор. На рис. 3 представлены линии тока в плоскостях симметрии модели.

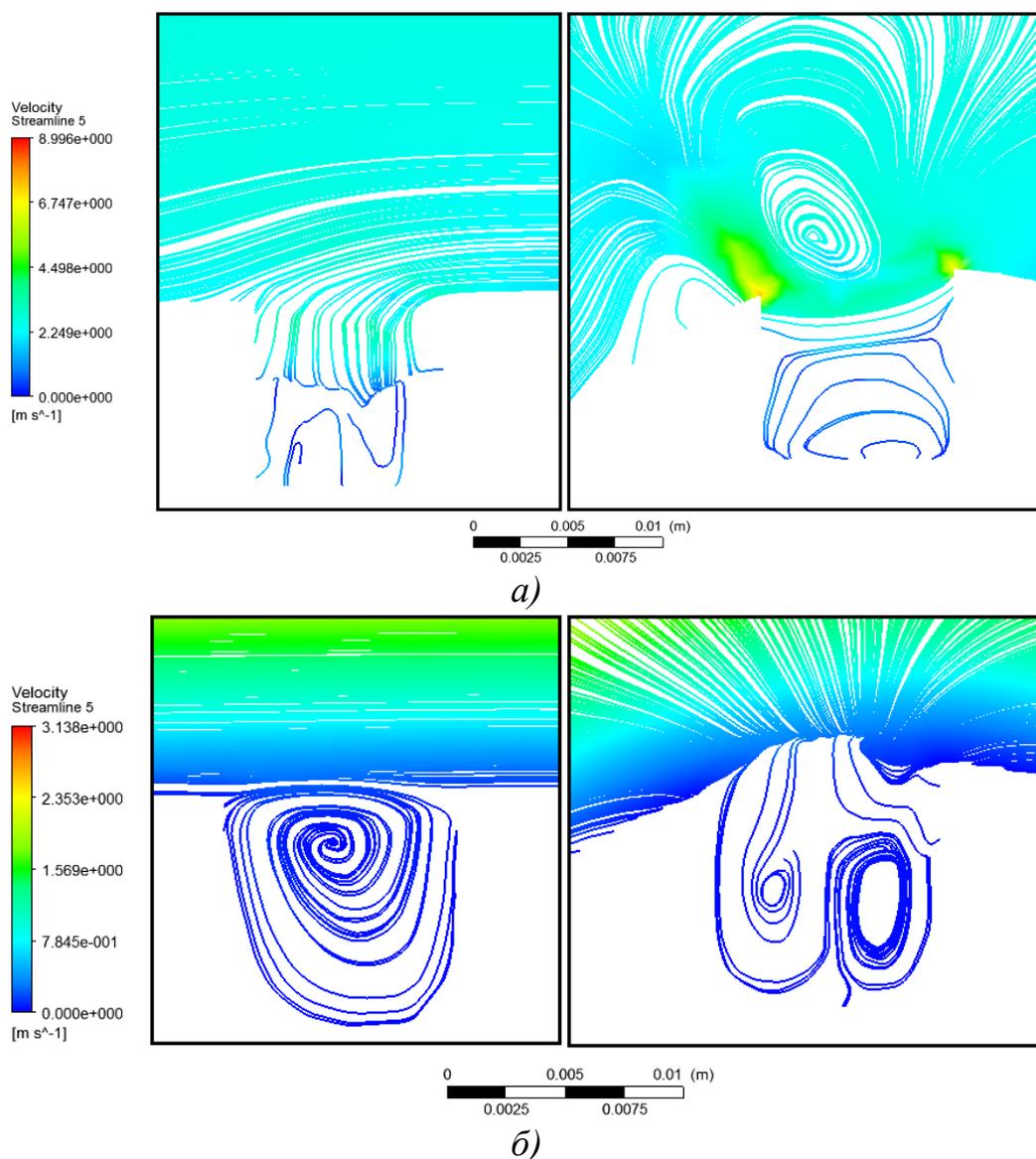


Рис. 3. Линии тока в плоскостях симметрии  
а – с вращающимся ротором, б – с неподвижным ротором

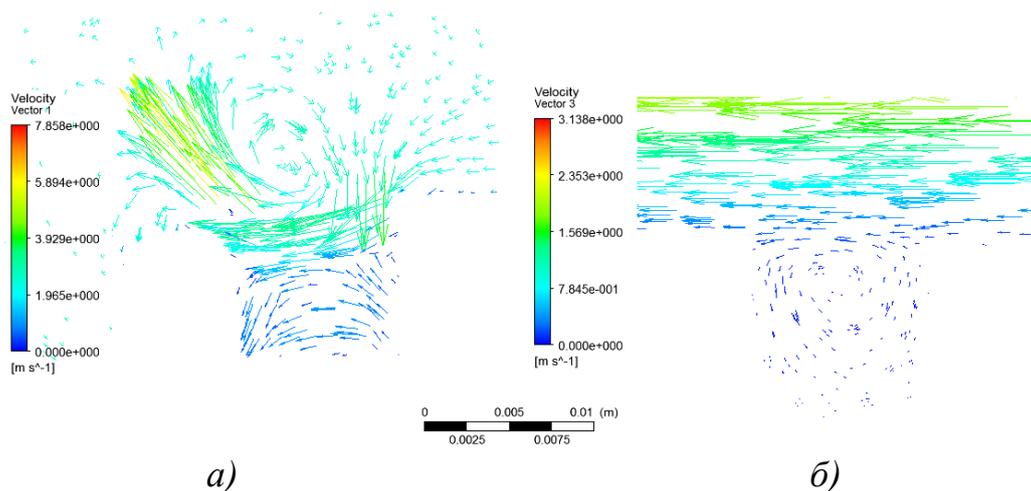


Рис. 4. Вектора скоростей вблизи каверны  
*а* – с вращающимся ротором, *б* – с неподвижным ротором

Видно, что за счет вращения (рис. 3, а) наблюдается значительное локальное увеличение скорости потока до 8.9 м/с. Вместе с тем в областях, отдаленных от каверны, отсутствуют значительные градиенты скорости потока. Также наблюдается обильное вихреобразование как в полости каверны, так и за ее пределами (рис. 4, а).

В случае с неподвижным ротором (рис. 3, б) скорость жидкости вблизи каверны и внутри нее близка к нулю, тогда как в первом случае скорость в ядре вихря составляла около 2.3 м/с. Также не наблюдается значительного локального увеличения скорости рядом с каверной. Видно, что вихрь образуется только внутри каверны и не выходит за ее пределы (рис. 4, б).

### Список литературы

- [1] Волков, К.Н. Методы и концепции визуализации вихревых течений в задачах вычислительной газовой динамики/ К.Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина, М. С. Яковчук // Ж. вычислительные методы и программирование, 2016. Т. 17. С.81-100
- [2] Наливкин, Д.В. Ураганы, бури и смерчи. Л.: Наука, 1969. 487 с.
- [3] Океанология. Физика океана. Т. I. Гидрофизика океана. Под ред. Мониной А.С и Каменковича В.М. М.: Наука, 1978. 466 с.
- [4] Алексеенко, С.В. Введение в теорию концентрированных вихрей/ С.В. Алексеенко, П.А. Куйбин, В.Л. Окулов // Новосибирск: ИТ СО РАН, 2003. 504 с.
- [5] Пащенко, В.В. Численное моделирование течения жидкости в квадратной каверне/ В.В. Пащенко, О.Г. Шитохина, О.И. Зиновьева // Электронный журнал: наука, техника и образование, 2016. №4 (9). С. 42-47.

**Пащенко Василий Васильевич** – ассистент КФ МГТУ им.Н.Э. Баумана. E-mail: vasilii.pashchenko@gmail.com

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

**Зиновьева Ольга Игоревна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zinovevaolga15@gmail.com

Д.А. Ломакин, В.В.Коротков

## **ОБЗОР КОНСТРУКЦИИ УСТАНОВОК ПОГРУЖНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ (УЭЦН) ДЛЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Эксплуатация нефтяных скважин с помощью установок погружных центробежных насосов (УЭЦН) широко распространена на нефтедобывающих производствах Российской Федерации, и, особенно, в Западной Сибири. В этом регионе более 90% всей добываемой нефти поднимается на поверхность земли с помощью установок ЭЦН. Особенно широко используются центробежные насосы при интенсификации добычи нефти.

В последние годы нефтяная промышленность получает большое количество новых видов УЭЦН, для изготовления которых все чаще применяются высококачественные материалы, а технологии производства становятся все более наукоемкими.

Итак, погружные насосы – это малогабаритные (по диаметру) центробежные, секционные, многоступенчатые насосы с приводом от электродвигателя. Они обеспечивают подачу  $10 \div 4000 \text{ м}^3/\text{сут.}$  и более напором  $450 \div 250 \text{ м.вод.ст.}$  (до 3000м).

В зависимости от поперечного размера погружного агрегата, УЭЦН делят на три условные группы: 5, 5А, 6, 6Б и 8 с диаметрами соответственно 92; 103; 114, 130, 172 мм, предназначенные для эксплуатационных колонн соответственно не менее 121,7; 130; 114,3; 144,1; 151,5; 205,7 мм.

Пример условного обозначения – УЭЦН М К 5 – 125 – 1300:



Рис.1. Условное обозначение погружного насоса

где У – установка; Э – привод от погружного электродвигателя; Ц – центробежный; Н – насос; М – модульный; К – коррозионно-стойкого исполнения; 5 – группа насоса; 125 – подача,  $\text{м}^3/\text{сут.}$ ; 1300 – напор, м.

Электродвигатели в установках применяются асинхронные, 3-х фазные с короткозамкнутым ротором вертикального исполнения ПЭД40-103 – обозначает погружной электродвигатель, мощностью 40 кВт, диаметром 103 мм. Двигатель заполняется специальным маловязким, высокой диэлектрической прочности маслом, служащим для охлаждения и смазки.

Для этих электродвигателей рабочее напряжение составляет  $380 \div 2300 \text{ В}$ , сила номинального тока  $24,5 \div 86 \text{ А}$  при частоте 50 Гц, частота

вращения ротора 2800-2950 мин<sup>-1</sup>, температура окружающей среды +50 ÷ +90 °С. Электроэнергия с поверхности к двигателю подается по кабелю.

Модуль-секция насос – центробежный многоступенчатый, секционный. Число ступеней в насосном агрегате может составлять от 80 до 500 и более ступеней.

Таблица 1. Виды установок погружных электронасосов

Наименование установок	Минимальный (внутр.) диаметр эксплуатационной колонны	Поперечный габарит установки, мм	Подача, м <sup>3</sup> /сут	Напор, м	Мощность двигателя, кВт	Тип газосепаратора	
УЭЦНМ5-50	121,7	112,0	50	990÷1980	32÷45		
УЭЦНМ5-80			80	900÷1950	32÷63		
УЭЦНМК5-80							
УЭЦНМ5-125			125	745÷1770		1МНГ5	
УЭЦНМК5-125							
УЭЦНМ5-200			200	640÷1395	45÷90	1МНГК5	
УЭЦНМ5А-160	130,0	124,0	160	790÷1705	32÷90	МНГА5	
УЭЦНМ5А-250			250	795÷1800	45÷90	МНГА5	
УЭЦНМК5-250							
УЭЦНМ5А-400			400	555÷1255	63÷125	МНГК5А	
УЭЦНМК5А-400							
УЭЦНМ6-250	144,3	137	250	920÷1840	63÷125		
УЭЦНМ6-320			320	755÷1545			
УЭЦНМ6-500	144,3 или 148,3	137 или 140,5	500	800÷1425	90÷180		
УЭЦНМ6-800	148,3	140,5	800	725÷1100	125÷250		
УЭЦНМ6-1000	148,3	140,5	1000	615÷1030	180÷250		

Состав узлов установки ЭЦН и их расположение представлены на рис. 2.

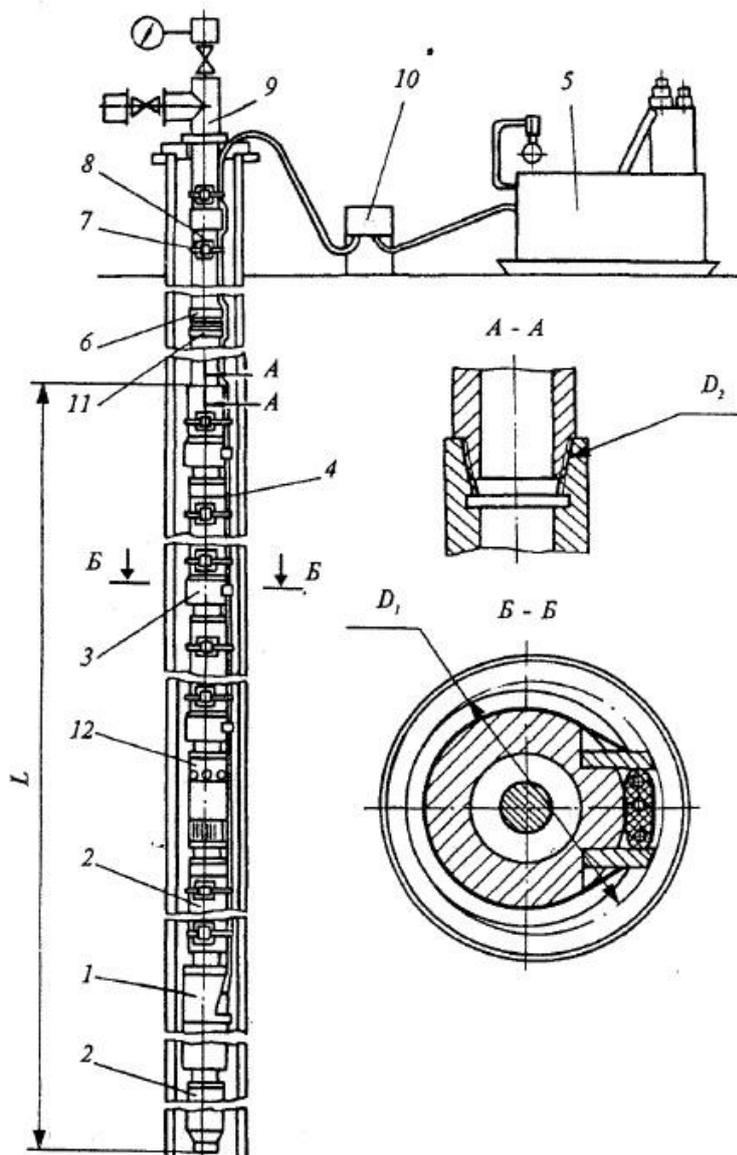


Рис. 2 – Общая схема установки погружного центробежного насоса.

- 1 – электродвигатель, 2 – гидрозащита; 3 – насос; 4 – кабельная линия;  
 5 – комплектное трансформаторное устройство; 6 – клапан спускной; 7 – пояс;  
 8 – труба насосно-компрессорная; 9 – оборудование устья скважины;  
 10 – выносной пункт подключения кабеля; 11 – клапан обратный;  
 12 – газосепаратор; L, D – длина и диаметральный габарит насосного агрегата;  $D_1$  – диаметр резьбы насосно-компрессорных труб (НКТ)

Скважинный центробежный насос приводится в действие погружным электродвигателем. Электроэнергия подводится к двигателю по специальному кабелю, располагаемому в скважине рядом с насосно-компрессорными трубами (НКТ). Установка привода непосредственно около насоса позволила решить задачу передачи энергии от привода к насосу и использовать насосы большей мощности.

Широкое применение погружных электроприводных центробежных насосов (ПЭЦН) обусловлено многими факторами: при небольших отборах

жидкости из скважин, установки ЭЦН наиболее экономичны и наименее трудоемки при обслуживании по сравнению с компрессорной добычей и подъемом жидкости насосами других типов. При больших подачах энергетические затраты на установку относительно невелики. В этой области работы КПД ее достаточно высок (до 0,35). Обслуживание установок ЭЦН простое, так как на поверхности размещаются только станция управления и трансформатор, не требующие постоянного ухода. Работа установок ЭЦН достаточно легко поддается автоматизации и телеуправлению.

### Список литературы

[1] В.Н. Ивановский, С.С. Пекин, А.А. Сабиров *Установки погружных центробежных насосов для добычи нефти*. – М.: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002 г. – 256 с.

[2] Березин С.Е. *Насосные станции с погружными насосами. Расчет и конструирование*. – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2008 г. – 160 с.

[3] Коршак А.А., Шаммазов А.М. *Основы нефтегазового дела. Учебник для вузов*. – Томск: ТПУ, 2011 г. – 183 с.

[4] В.Я. Карелин, А.В. Минаев *Насосы и насосные станции. Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб и доп.* – М.: Стройиздат, 1986 г. – 320 с.

**Ломакин Дмитрий Андреевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sup4yoba@gmail.com

**Коротков Виталий Владимирович** – канд. техн. наук, зав. каф. "Гидромашины и гидропневмоавтоматика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k2kf@bmstu-kaluga.ru

Ф.Л. Чубаров, К.С. Каньшин

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ ГИДРАВЛИКИ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Гидравлика и гидравлические машины используются во всех сферах жизни. Очень сложно найти область жизни, где бы они не применялись. Применяется огромное разнообразие гидравлических приводов и механизмов. Одним из важнейших использований гидравлики является гидравлический привод, который обеспечивает работу основной части тяжелого технологического оборудования. Принцип его работы относительно прост и лаконичен. Однако даже такая не сложная система требует тонкого контроля и регулирования. В этом и заключается сложность его применения. Реализация работы привода обеспечивается несколькими способами регулирования, самыми распространенными и широко используемыми на сегодняшний день являются объемный и дроссельный. Учитывая возросшие требования к энергосбережению при эксплуатации технологического оборудования, одним из важнейших параметров таких систем становится КПД. И оба этих метода регулирования не имеют хороших результатов по этому показателю, особенно дроссельное регулирование. Но на этом их недостатки не заканчиваются, в связи с этим в гидравлику были привлечены цифровые технологии, которые позволили повысить КПД, точность работы устройств, а также обеспечивать мониторинг работы оборудования. Привлечение новых технологий значительно расширяет области применения гидроприводов, что делает развитие этого направления актуальным на ближайшее будущее. [1]

Последние разработки в области управления гидравлическим приводом предлагают использовать системы электрогидравлического пропорционального управления. Суть этого управления заключается в реализации управления расходом рабочей жидкости за счет перемещения управляющего золотника пропорционально управляющему электрическому сигналу, заданному в цифровой или аналоговой форме, который, в свою очередь, поступают от центрального блока управления. Эта система управления позволяет реализовывать управление оборудованием с использованием обратной связи или без нее. Пропорциональная электрогидравлическая система управления обладает рядом преимуществ по сравнению с дискретными электрогидравлическими системами, к ним относятся:

- снижение динамических нагрузок как на гидропривод, так и на машину в целом;
- увеличение точности работы механизмов;
- возможность снижения материалоемкости оборудования;

- повышение надежности и долговечности оборудования;
- повышение производительности оборудования за счет возможности увеличения скорости перемещения рабочих органов;
- облегчение программирования, позволяющего обеспечить простоту и гибкость системы;
- некоторое повышение КПД;
- Значительное уменьшение габаритов.

Основой электрогидравлического пропорционального управления является пропорциональный электрогидравлический распределитель золотникового типа, осуществляющий регулирование расхода рабочей жидкости в гидравлической системе. Открытие и закрытие клапана происходит с помощью электромагнитов со специальными магнитопроводами и возвратных пружин. Перемещение золотника, изменяющего проходное сечение для рабочей жидкости на входе и выходе, осуществляется пропорционально току, протекающему через обмотки электромагнитов. Инновацией в этой области являются особые пропорциональные электромагниты, работающие не в двух режимах (открыт - закрыт), а пропорционально, т.е. способные модулировать силу, в зависимости от тока протекающего по его обмоткам. Точность отработки сигнала управления в некоторых системах увеличивается за счет использования цифровых систем управления с компенсацией нелинейной характеристики электромагнита или обратной связью по положению золотника. Таким способом регулирования обеспечивается требуемое ускоренное, равномерное или замедленное движения гидродвигателя. Гидравлические удары практически исключаются. [2]

В настоящее время многократно возрастает использование электрогидравлических пропорциональных систем. Электрогидравлическое управление легло в основу огромному числу абсолютно новых способов модулирования параметров гидросистемы. Одним из самых прогрессивных методов является метод регулирования «по нагрузке», (от англ «load sensing») известный как LS-регулирование. Принцип работы которого заключается в осуществлении отбора давления из силовой линии и формировании перепада давления. Все шире используется оборудование оснащенное приводами на основе LS и других систем регулирования так как оно отвечает всем необходимым современным технологическим требованиям и показателям.

На сегодняшний день электрогидравлические системы с пропорциональным управлением находят все большее применение в технике. Их использование не ограничивается сложным и громоздким промышленным оборудованием. С использованием гидравлических приводов с пропорциональным электрогидравлическим управлением за последние 15 лет было создано огромное количество машин разного назначения, от ручного инструмента, складских погрузчиков,

портативных подъемников, различной строительной техники до автономных подводно-транспортных средств. [3]

Огромное количество приводов используется в роботах и роботизированном оборудовании, объем выпускаемой продукции которыми все сильнее увеличивается в наше время и будет увеличиваться в будущем. Робототехника является крайне дифференцируемой наукой, основной задачей которой является создание и изучение роботов. Применение роботов не ограничивается промышленностью. На данный момент роботы стремительно проникают во все сферы человеческой жизни. Современные роботы способны работать в глубинах океана, глубоко в недрах земли и в космосе. И для всех этих задач роботам необходимы приводы, отвечающие всем современным техническим показателям.

Таким образом гидравлика, пусть и с интеграцией цифровых технологий, остается крайне перспективным направлением машиностроения.

### Список литературы

[1] Иванов Г.М., Свешников В.К., Сазанов И.И. Цифровой линейный электрогидравлический привод // Конструктор. Машиностроитель. 2013. – 44 с

[2] Хомутов В.С. Улучшение статических и динамических характеристик электрогидро- статического привода в области малых сигналов управления. Автореферат дис. ... кандидата технических наук. М.: МАИ. 2009. 32 с

[3] Выжигин А.Ю. Методы повышения быстродействия пневматических приводов промышленных роботов [Электронный ресурс]: монография/ А.Ю. Выжигин, Ю.К. Щипин– Электрон. текстовые данные. – М.: Московский гуманитарный университет, 2011. – 112 с

**Чубаров Федор Леонидович** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedor1966chub@yandex.ru

**Каньшин Кирилл Сергеевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Kanshin.K@ya.ru

А.А. Зубов, Ю.Ю. Мисягина, А.А. Анкудинов

## ПЕРСПЕКТИВЫ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ ОСЕВИХРЕВОГО НАСОСА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Осевихревой насос. ОВН является насосом у которого осевое направлением движения жидкости, сочетается с вихревым течением на периферии ступени [1]. ОВН имеет высокие кавитационные качества. Во всем диапазоне изменения подачи на входе отсутствуют низкочастотные колебания давления и подачи. В отличии от осевых колес – шнеков, при развитии кавитации, уровни пульсаций давления, а значит и вибрации не увеличиваются, а уменьшаются. [3]. Область применения такого насоса в качестве предвключенной ступени и отдельного насоса: энергетическое, нефтяное, химическое, специальное машиностроение, криогенная техника. Отличительные качества по сравнению с осевым шнеком это повышенный напор, непрерывно падающая напорная характеристика, лучшие кавитационные качества, низкий уровень вибрации во всем диапазоне подач, особенно на развитой кавитации.

Конструктивная схема и характер течения в проточной части ОВН представлен на рис.1. Насос содержит осевое колесо шнек (2) с постоянным или переменным ходом лопастей. Над шнеком располагается, неподвижная винтовая решетка (1), ход лопастей которой противоположен ходу лопастей шнека. [1].

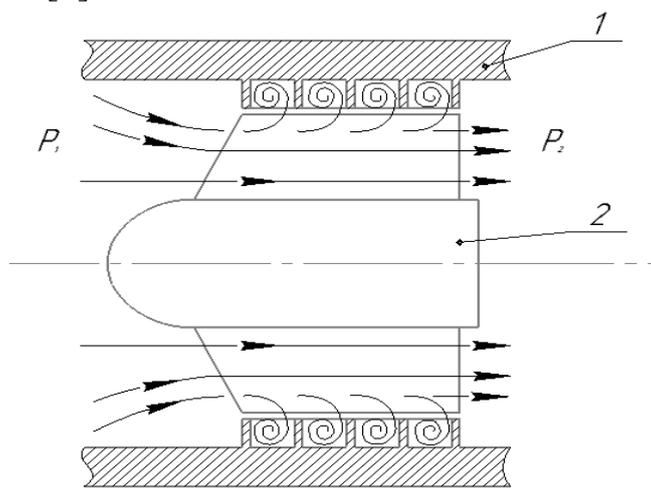


Рис. 1. Схема ОВН и течение жидкости в каналах

Исследования течения жидкости, замеры параметров потока, и его визуализация с помощью нитей и подачи воздуха в проточную часть, а также расчет течения численными методами позволили выявить особенности течения жидкости, взаимодействия осевого и вихревого периферийного по-

токов. Под влиянием перепада давлений, созданным Ш, в НР формируется вторичный поток, движущийся от выходного сечения в противоположном основному потоку направлении.

В каналах НР образуется вихревое течение, (рис. 1). В центре вихря возникает пониженное давление, в область которого концентрируются частицы пара и газа, выделяемые при возникновении кавитации. [1].

Напорные характеристики ОВН с различной осевой длиной и высотой НР в диапазоне исследуемых геометрических параметров представлены в работе [2], можно представить эмпирической формулой:

значение угла установки лопастей Ш и НР;  $\bar{V} = \bar{L}\bar{F}$  – приведенный объем каналов НР. Эксперимент показал, что во всем диапазоне подач напор ОВН превосходит напор шнекового насоса, особенно на малых подачах. Это объясняется тем, что чем меньше подача, тем больше интенсивность вихревой составляющей. [2].

Повышение кавитационных качеств. Повышение кавитационных качеств ОВН можно осуществить подачей жидкости в неподвижную решетку. Подачу жидкости можно осуществить от постороннего источника или из напорной линии насоса. На рис.2 показана схема подачи жидкости от постороннего источника.

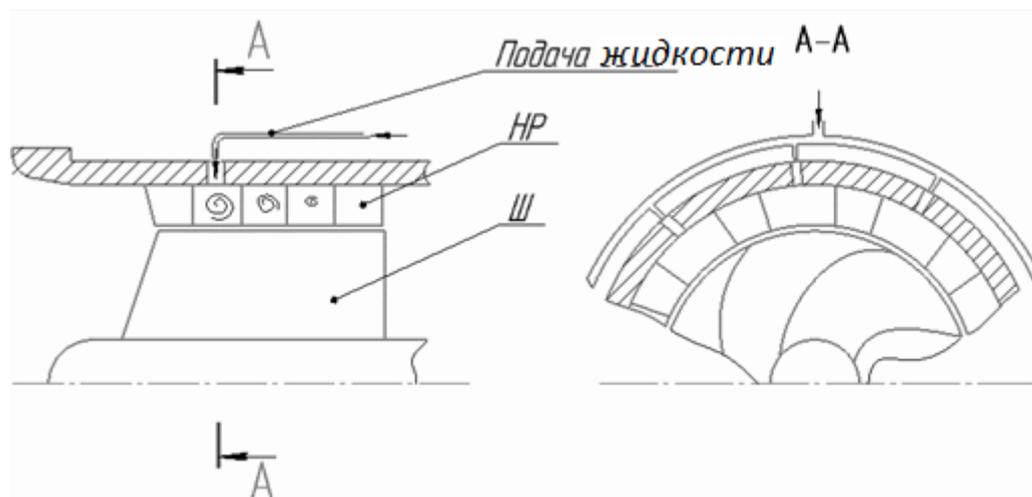


Рис. 2. Схема модели ОВН с подачей воды в каналы НР

При подаче дополнительной жидкости с более высоким давлением в зону образования кавитационной каверны давление повышается и тем самым снижается область, занятая каверной, а значит улучшаются кавитационные качества.

На рис.3 показаны кавитационные характеристики ОВН без подачи и с подачей жидкости. Приведенные характеристики показывают, что подача жидкости из дополнительного источника существенно улучшила кавитационные качества ОВН.

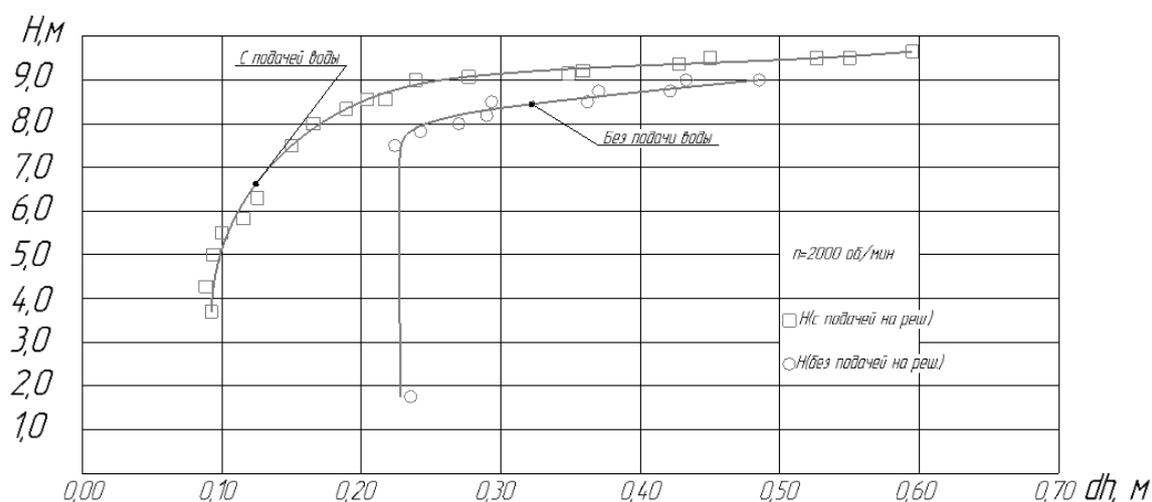


Рис. 3. Кавитационная характеристика ОВС с подачей и без подачи воды на решетку (при подаче насоса  $Q=25$  м.куб/час; подаче сопла  $Q_c=3$  м.куб./час)

В технике возникают задачи, в которых необходимо получить еще лучшие кавитационные качества, чем достигнутые, что позволит увеличить частоту вращения агрегата и снизит габариты. Существуют проблемы, связанные с перекачиванием двухфазных сред. Такие задачи имеют место при перекачивании сжиженного газа, нефти, в химической промышленности в авиации и ракетной технике.

Газонасыщенные среды. Работу центробежных насосов на газонасыщенных средах можно разделить на три области: область малых газосодержаний (менее 1,5%), в котором насос продолжает работать с незначительным снижением параметров; область средних газосодержаний (до 8%), которая характеризуется неустойчивой работой насоса и скачкообразным снижением параметров; область высоких газосодержаний (более 8%), которая характеризуется вновь спокойной работой насоса и дальнейшим монотонным снижением параметров. При содержании воздуха 4-7% работа насоса становится неустойчивой и на кривых изменения напора и подачи наблюдается резкое падение параметров насоса. [4].

Применение ОВН дает возможность стабильной работы насоса без критических падений параметров при газонасыщенности жидкости (до 15%)

Таким образом доработка ОВН может привести к существенному улучшению кавитационных и других эксплуатационных характеристик.

### Список литературы

[1] Зотов Б.Н., Анкудинов А.А. Осевихревой насос. Патент РФ 2014509

[2] Анкудинов А.А., Куфтов А.Ф. Энергетические характеристики осевихревого насоса // Известия вузов. №2. - М.: Машиностроение, 1989.

[3] Мелашенко В.И., Савельев А.И. Расчет шнекоцентробежной ступени насоса: учебное пособие. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. 64 с.

[4] Несытов Е.К. Разработка центробежных насосов для перекачивания газонасыщенных жидкостей на предприятиях микробиологической промышленности. М.: Труды ВНИИгидромаша. 1981. 80 с.

**Зубов Александр Александрович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zyb.zubov@yandex.ru

**Мисягина Юлия Юрьевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: misyagina1994@mail.ru

**Анкудинов Анатолий Александрович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Гидромашины и гидропневмоавтоматика» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ankudinov051@yandex.ru

А.В. Регеда, Ф.Л. Чубаров

## **ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЫЛЕВЛАГОЗАЩИТНОГО ЧЕХЛА ТЕЛЕСКОПА Т-170М**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Проект «СПЕКТР-УФ» направлен на создание крупной космической обсерватории для работы в недоступном для наблюдений с земной поверхности ультрафиолетовом (УФ) участке спектра.

Основной инструмент обсерватории – космический телескоп Т-170М с главным зеркалом диаметром 1.7 м – будет оснащен спектрографами высокого и низкого разрешения и камерами для построения высококачественных изображений в УФ - диапазоне. Оптическая система телескопа Т-170М построена по двухзеркальной оптической схеме Ричи – Кретьена. Назначение оптической системы телескопа – формирование изображений исследуемых космических объектов (звезды, галактики, планеты и т.п.).

В ультрафиолетовом (УФ) диапазоне отражательная способность оптических поверхностей играет важную роль в общей производительности системы и оптической конструкции приборов. Даже незначительное изменение отражательной способности может оказать сильное воздействие на проектирование оптических конструкций. В оптической схеме телескопа Т-170М два оптических элемента, и, тем не менее, необходимо максимально заботиться о достижении высокой отражательной способности, особенно в дальнем ультрафиолетовом участке спектра.

Для поддержания чистоты поверхности элементов оптической системы в составе космического аппарата предполагается создать пылевлагозащитный чехол. Чехол должен обеспечить чистоту внутренней полости телескопа Т-170М путем поддува в него газообразного азота.

Пылевлагозащитный чехол предназначен для обеспечения требуемых параметров среды во внутренней полости телескопа Т-170М, чистоты агрегатов телескопа и телескопа в целом при их сборке, транспортировке и испытаниях на заводе изготовителе.

Для чистоты внутренней полости телескопа Т-170М (линзы, инструментального отсека) необходимо полностью заменить внутреннюю атмосферу пылевлагозащитного чехла, так как кислород имеет вредное воздействие на линзу, что приводит к скорому уменьшению ее пропускной способности. Внутренняя атмосфера пылевлагозащитного чехла будет заменяться газообразным азотом по средствам поддува его в чехол. При этом могут возникнуть некоторые трудности при выборе избыточного давления и места расположения форсунок. Если выбрать слишком высокое давление, то в чехле может образоваться отверстие, которое приведет к разгерметизации чехла и к следующему его разрушению. Если же выбрать

слишком маленькое избыточное давление, то азот вообще может не поступить в чехол. При выборе места расположения форсунок необходимо учитывать то, что азот должен полностью заменить внутреннюю атмосферу пылевлагозащитного чехла телескопа Т-170М. Для того чтобы азот занял весь объем пылевлагозащитного чехла, нужно рассчитать точное избыточное давление для поддува азота.

Расчет будет производиться в программах Ansys (CFX) и Solidworks.

В программе Solidworks строится модель внутреннего воздушного пространства пылевлагозащитного чехла и телескопа, а затем вставляется в программу Ansys (CFX).

На рисунке 1 указываются места где видно вход и выход азота, с целью оптимального заполнения чехла.

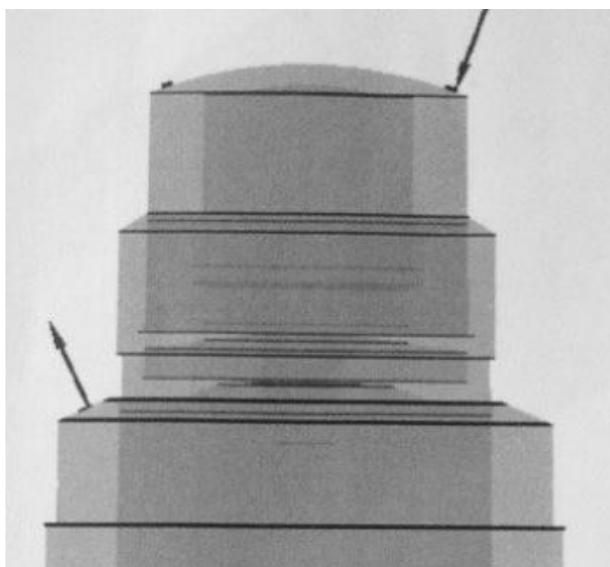


Рис. 1. 3D модель внутреннего воздушного пространства чехла

Результаты исследования будут представлены в следующей работе.

### Список литературы

- [1] НПО им. С. А. Лавочкина Журнал «Вестник». - 2014. - №5.
- [2] А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин «Гидравлические и пневматические системы». М.: Academa - 2004.

**Регеда Антон Владимирович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: antosharegeda@gmail.com

**Чубаров Федор Леонидович** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedor1966chub@yandex.ru

В.Д. Вальяников, Ф.Л. Чубаров

## ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ МП-9С

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Современные системы управления, как правило, строятся на использовании микроконтроллера, это позволяет резко расширить возможности алгоритмов управления, сделать их более гибкими, функциональными и перестраиваемыми.

На текущий момент большое внимание уделяется вопросу перевода морально устаревшего оборудования на современную элементную базу.

Были проанализированы подходы к построению микроконтроллерных систем. Все связи и элементы системы показаны на структурной схеме, представленной на рис. 1. Это позволяет оптимизировать выбор микроконтроллера и необходимого числа портов ввода/вывода [1].

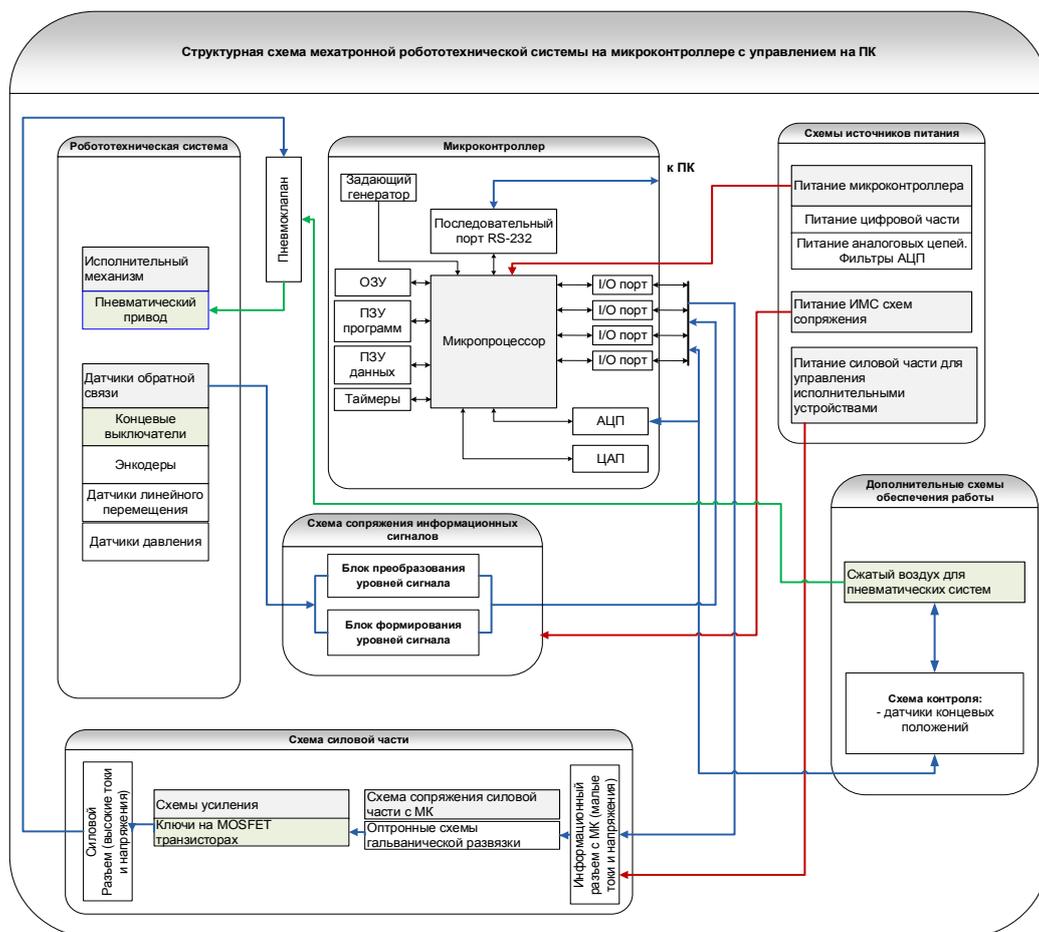


Рис. 1. Структурная схема робототехнической системы

В ходе работы был разработан программный код для микроконтроллера Atmega 16. В начале выполняется конфигурирование портов ввода/вывода (вывод ICP настраивается на вход и включается подтягивающий резистор), настройка таймера T1 и инициализация символьного LCD. Затем в бесконечном цикле каждые n мс считывает содержимое буфера, вычисляет частоту и выводит ее значение на дисплей/порт. Также в порт выводится содержимое регистра захвата. По положительному фронту сигнала на выводе ICP (PD6 для ATmega16) блок захвата таймера T1 сохраняет значение счетного регистра и генерирует запрос на прерывание. В обработчике прерывания счетный регистр обнуляется, а значение регистра захвата записывается в буфер. Значение, которое сохраняет блок захвата, соответствует числу тиков таймера укладываемых в период измеряемого сигнала [2].

Создан алгоритм для каждого из восьми возможных движений манипулятора МП-9С, показанный на рис. 2.

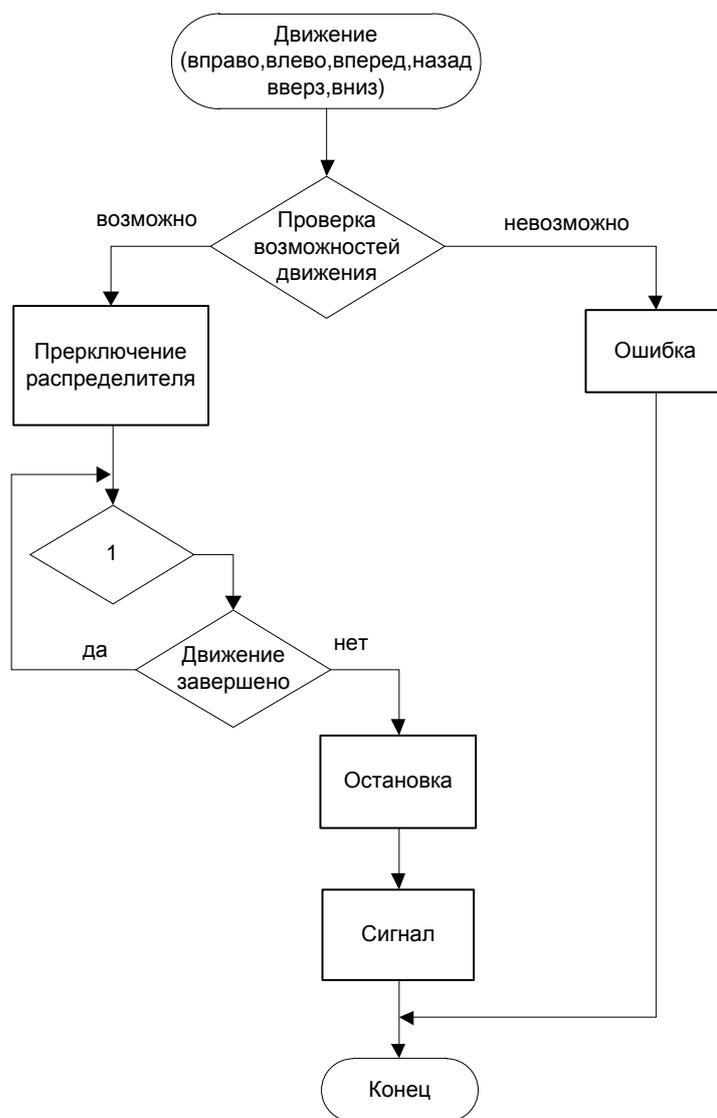


Рис. 2. Алгоритм для каждого из восьми возможных движений работа

Данный алгоритм наиболее прост в реализации и создан для ручного управления. С помощью команды с компьютера подается сигнал, который запускает один из алгоритмов движения. [3].

**Выводы.** В результате работы был создан программный код прошивки микроконтроллера для управления роботом. Разработан протокол передачи данных от микроконтроллера к персональному компьютеру по интерфейсу RS-232.

### Список литературы

[1] Исаев А.А., Петелин В.А., Масюк В.М. Проектирование мехатронного устройства измерения положения, скорости и ускорения линейной части робота МП-9С. Региональная научно-техническая конференция "Научоемкие технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в ВУЗе", Калуга, МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2014.

[2] Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2007. – 592 с.: ил. (Серия «Программируемые системы»).

[3] Кузьминов А.Ю. Интерфейс RS232: Связь между компьютером и микроконтроллером: от DOS к WINDOWS 98/XP. – М.: Издательский дом «ДМК-Пресс», 2006. – 320 с.

**Вальяников Владимир Денисович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: valjanikov-vladimir@yandex.ru

**Чубаров Федор Леонидович** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedor1966chub@yandex.ru

Ю.Ю. Мисягина, А.А. Зубов, Е.С. Катенина, А.А. Анкудинов

## **СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ В ПРЕДВКЛЮЧЕННЫХ СТУПЕНЯХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

**Проблема эрозии.** Кавитационная эрозия является следствием схлопывания кавитационных каверн, пузырьков газа и пара на деталях проточной части центробежных насосов. Разрушению от воздействия кавитации подвержены лопасти, участки корпуса. Это является одним из самых опасных проявлений кавитации, которые приводят за короткий срок к нарушению нормальной работы агрегата и выхода из строя. При этом увеличиваются уровни вибрации, ухудшаются другие характеристики насосного агрегата. Выход из строя агрегата может происходить за несколько часов работы. Поэтому снижение и исключение кавитационной эрозии является одной из основных задач по улучшению технических характеристик.

**Выбор материалов-защита от эрозии.** Определение абсолютной и относительной стойкости различных видов материалов и покрытий к воздействию кавитационной эрозии является актуальной задачей для самых разных областей техники. В частности, кавитационная эрозия имеет место в проточной части гидротурбин, в насосах самого разного назначения, в различных элементах гидропривода. Наиболее опасной кавитационная эрозия является в сочетании с химической и электрохимической коррозией, а также с абразивной эрозией. Указанное сочетание опасных факторов встречается, например, в химических насосах. Кавитационная эрозия проточной части крупных гидротурбин может привести как к падению КПД и усилению вибрации ротора гидротурбоагрегата, к разрушению его проточной части, тогда как ремонт и даже осмотр проточной части турбины крайне затруднены условиями ее непрерывной эксплуатации. В работе проводились сравнительные испытания образцов материалов и покрытий на стойкость к кавитационной эрозии. Испытывались материалы (стали), применяемые в проточных частях насосов и гидротурбин, а также различные покрытия как полимерные, так и резиновые [4].

Главной причиной кавитационной эрозии металлических поверхностей является схлопывание на них кавитационных пузырьков. При этом кинетика процесса разрушения материала описывается кривой эрозии (потерь массы или объема во времени), на которой, как при процессе усталости, выделяют стадии образования и развития эрозионных повреждений (рис. 1). Традиционным критерием эрозионной стойкости материала служат потери его массы (объема) за определенный период времени. Этот критерий не учитывает условия нагружения, физику процесса и свойства материала.

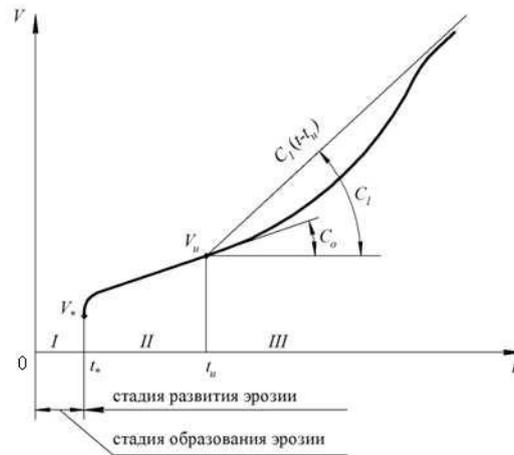


Рис. 1. Кривая кавитационной эрозии: I – инкубационный период; II, III – периоды кавитационного упрочнения и разупрочнения

Кавитационное воздействие является случайным микроударным процессом. Поэтому эрозионная стойкость сплавов будет определяться их структурными составляющими, свойствами зерен, строением тонкой структуры. Описанные выше модели процесса эрозии этого не учитывают.

Следует также учитывать и вероятностную природу процесса [5].

**Покрyтия.** Одним из признанных методов повышения эксплуатационных характеристик деталей машин и механизмов является химико-термическая обработка (ХТО), которая радикальным образом изменяет состав и физико-химические свойства поверхностных слоев деталей, что позволяет значительно повысить их эксплуатационные свойства, в том числе и кавитационную стойкость. Это увеличивает надежность и долговечность машин, работающих в условиях кавитационной эрозии. К таким деталям относятся, в частности, крыльчатки и другие рабочие органы насосов для перекачки жидкостей.

В некоторых рабочих полостях насосов при нарушении ламинарного режима движения жидкости возникают области повышенного или пониженного давления, что приводит к резкому схлопыванию пузырьков воздуха и возникновению кавитационного износа. Защита от него проблематична, может осуществляться как с помощью конструктивных разработок, направленных на устранение областей переменного давления, так и с помощью методов, улучшающих свойства поверхностных слоев деталей машин. Это приводит к необходимости широкого внедрения в промышленность наиболее перспективных процессов ХТО, изучения закономерностей формирования, состава и свойств кавитационно-стойких диффузионных слоев.

Особый интерес представляет изучение свойств и закономерностей формирования диффузионных слоев, образованных несколькими карбидообразующими элементами, что позволяет получать более высокие эксплуатационные характеристики по сравнению с насыщением одним элементом. Многочисленные литературные данные показывают, что диффузионные слои на основе карбидов переходных металлов, обладают высокой кавитационной стойкостью в ряде агрессивных сред [2].

**Обзор и анализ способов улучшения кавитационных качеств насоса.** Кавитационная эрозия связана с степенью развития кавитации. Поэтому улучшение кавитационных качеств - одна из задач, которая снижает эрозию. Существуют следующие способы улучшения кавитационных качеств центробежных насосов:

- выполнение центробежного колеса первой ступени с увеличенной площадью горловины на входе;
- применение бустерного насоса с более низкой частотой вращения, чем у основного насоса;
- установка предвключенного струйного насоса;
- применение шнека.

Одним из перспективных способов улучшения кавитационных качеств насоса, снижение шума, вибрации и низкочастотных пульсаций давления и подачи является установка на входе в насос осевихревой ступени [3].

Осевихревая ступень (ОВС) представляет собой насос, состоящий из осевого колеса и размещенной на его периферии неподвижной винтовой решетки, ход нарезки лопастей которой противоположен ходу лопастей шнека. Течение жидкости в ОВС имеет сложный пространственный характер с вихревым течением на периферии. Упрощенно весь поток можно разделить на две зоны: основной осесимметричный поток, расположенный вблизи втулки шнека, и вихревой поток в периферийной части осевого колеса и в неподвижной решетке [3].

ОВС по сравнению со шнеком имеет следующие преимущества:

- более высокий коэффициент напора;
- лучшие кавитационные качества;
- низкие уровни пульсации и вибрации.

Эти свойства ОВС определяют перспективность ее применения и возможность использовать ее как отдельный насос.

**Развитие кавитации.** При кавитационном обтекании изолированных профилей наблюдаются кавитационные течения различной формы. Пузырьковая кавитация характеризуется быстрым образованием в зоне пониженного давления на профиле отдельных удаленных друг от друга и сравнительно крупных сферообразных пузырей с последующим замыканием их в зоне повышенного давления. При струйном стационарном течении на профиле возникает каверна, граница которой с жидкостью является границей раздела газообразной и жидкой фаз. Течение нестационарно только в хвосте каверны, где происходит ее замыкание с образованием вихря. Для струйного нестационарного течения характерно периодическое образование каверн на профиле. Отмечают три фазы течения: формирование и рост каверны, возвратное течение к носу каверны, отрыв каверны. Отрыв каверны происходит в тот момент, когда обратная струя соприкасается с границей каверны. Появление каверн сопровождается возрастанием уровня шума и вибрации. С уменьшением кавитационного запаса растут уровни шума и вибрации, а также размеры каверн [1].

### **Выводы:**

1. Высокая стойкость резиновых покрытий к кавитационной эрозии. Из этого следует целесообразность применения данного типа покрытий в проточной части гидромашин для повышения их ресурса работы.

2. Полимерные покрытия с низкой кавитационной стойкостью и их применение в гидромашине для защиты от кавитационной эрозии не оправдано.

3. Максимальную защиту от кавитационной эрозии поверхностных слоев деталей машин обеспечивают одно- и многокомпонентные карбидные слои, имеющие толщину слоя более 30 мкм. Диффузионные слои карбидного типа на стали марки 20ХНР также обеспечивают надежную защиту от гидроэрозии. Диффузионные карбидные слои на сталях типа 20ХНР, 40ХН, 38ХМЮА могут использоваться для эффективной защиты от кавитационной эрозии.

4. Высоколегированные малоуглеродистые стали 20Х13 и 12Х18Н10Т в исходном состоянии имеют кавитационную стойкость, превышающую стойкость сталей с нанесенными диффузионными слоями. Это объясняется невозможностью образования сплошного карбидного слоя достаточной толщины вследствие малого процентного содержания углерода, наличия в основе карбидообразующих элементов, связывающих углерод.

### **Список литературы**

[1] Гряно Л.П., Папира А.Н. Лопастные насосы // “Машиностроение” (Ленингр.отд-ние),-1975.

[2] Долгих А.М. Повышение кавитационной стойкости деталей машин нанесением защитных покрытий // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, №3. - 2011.

[3] Зотов Б.Н., Анкудинов А.А. Осевихревой насос. Патент РФ 2014509.

[4] Петров А.И., Скобелев М.М., Ханычев А.Г. Исследование сравнительной стойкости к кавитационной эрозии образцов материалов и покрытий проточной части гидромашин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Трение и износ в машинах. Сер. “Машиностроение”, №2. - 2015.

[5] Шестоперов В.Ю. Сопротивление материалов кавитационной эрозии и критерии оценки их стойкости // Современные проблемы науки и образования. Вып.№1.-2015.

**Мисягина Юлия Юрьевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: misyagina1994@yandex.ru

**Зубов Александр Александрович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: zyb.zubov@yandex.ru

**Катенина Елена Сергеевна** – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: e.katenina@bk.ru

**Анкудинов Анатолий Александрович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Гидромашины и гидропневмоавтоматика» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: ankudinov051@yandex.ru

Е.С. Липин, С.С. Панайотти

## ХИМИЧЕСКИЕ КОНСОЛЬНЫЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ НАСОСЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

**Введение.** Химические насосы способны работать с самыми разными типами агрессивных жидкостей. Перекачиваемые жидкости являются химически активными, при этом, степень их агрессивности может сильно различаться.

К созданию данного вида насосов привело развитие различных областей промышленности и как следствие, потребность в работе с агрессивными средами без повреждения элементов конструкции. Тем не менее, определенные виды химических насосов могут применяться для работы с нейтральными средами, а также при различных температурах в условиях повышенного давления. Все виды химических насосов имеют различное производственное назначение. В первую очередь, они активно используются для работы с ядовитыми и агрессивными жидкостями.

Химические консольные насосы должны иметь напорную характеристику без западания в области малых подач. Рассмотрение напорных характеристик уже выполненных насосов с малым коэффициентом быстроходности показало, что очень немногие насосы удовлетворяют этому требованию. В частности, незападающую характеристику имеет насос 3Ц-4. Насос разработан на Щелковском насосном заводе [2] и предназначен для перекачивания аммиака и других легкокипящих жидкостей. Напорная характеристика насоса не имеет западания при малых подачах (рис. 1).

Принимая во внимание данные [1, 3, 4], а также данные по насосу 3Ц-4, при проектировании консольных насосов с незападающими напорными характеристиками целесообразно руководствоваться следующими рекомендациями:

1. При коэффициентах быстроходности  $n_s = 20 \dots 40$  назначать число лопастей рабочих колес  $3 \dots 4$ .

2. Для увеличения расходного параметра до  $q_p = V_{2mp} / U_2 \operatorname{tg} \beta_{2л} \geq 0,2$  выбирать угол установки лопасти на выходе  $\beta_{2л} \approx 15^\circ$ .

3. С той же целью назначать ширину рабочего колеса на выходе  $b_2 \leq b_{2онт}$ . При больших коэффициентах быстроходности можно увеличить число лопастей и угол установки лопасти на выходе до обычно принятых значений [3].

4. Как рекомендуется в работе [1] при профилировании лопастей продлевать лопасти колеса в его горловину. Это способствует возникновению при подаче  $Q = (0,3 \dots 0,4) Q_{онт}$  обратных токов на наружном диаметре входа в рабочее колесо. Для предотвращения закрутки основного потока обратными токами устанавливать во всасывающей патрубке перед входными кромками лопастей рабочего колеса густую решетку радиальных пластин.

5. Следовать предложениям, изложенным в работах [3, 4].

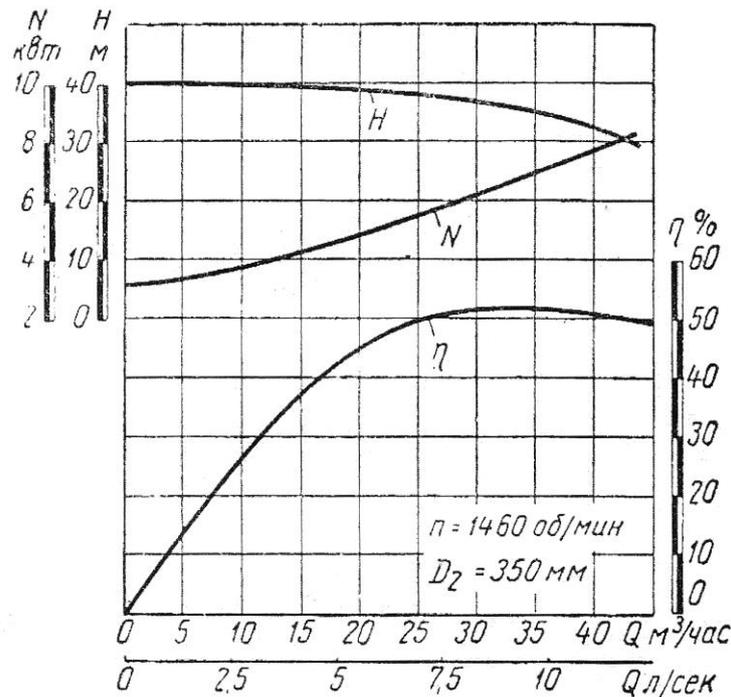


Рис. 1. Энергетическая характеристика центробежного насоса 3Ц-4

При проектировании химических консольных центробежных насосов необходимо рассчитать подвод, рабочее центробежное колесо и спиральный отвод. В качестве примера рассмотрим расчет насоса со следующими параметрами: объемная подача  $Q = 90 \text{ м}^3/\text{ч}$ , напор  $H = 116 \text{ м}$ , частота вращения  $n = 2950 \text{ об/мин}$ , допускаемый кавитационный запас  $\Delta h_{\text{доп}} = 2,1 \text{ м}$ .

**Расчет и проектирование.** Проточная полость насоса рассчитана по программе «Одноступенчатый центробежный насос со спиральным отводом», подробно описанной в работе [5].

Сначала по формулам (1), (2) и (3) определяются коэффициент быстроходности насоса  $n_s = 46$ , потребляемая насосом мощность  $N = 38,4 \text{ кВт}$ , ориентировочный диаметр приводного конца вала при  $\eta = 0,78$ .

$$n_s = 3,65n\sqrt{Q}/H^{3/4}, \quad (1)$$

$$N = N_{\text{п}}/\eta \quad (2)$$

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{н}}} = \frac{N_{\text{г}}}{N_{\text{н}}} \frac{N'}{N_{\text{г}}} \frac{N_{\text{п}}}{N'} = \eta_{\text{м}} \eta_{\text{о}} \eta_{\text{г}}. \quad (3)$$

Назначается относительная площадь входного патрубка  $\bar{F}_{\text{вх}} = 1,165$ , так чтобы диаметр входного патрубка соответствовал стандартному [5]. Соответствующий коэффициент диаметра входного патрубка выбран  $K_{D_{\text{вх}}} = 5,4$ . Диаметр входного патрубка принят равным  $D_{\text{вх}} = 110 \text{ мм}$ .

Относительная площадь входного патрубка

$$\bar{F}_{\text{вх}} = F_{\text{вх}} / F_0. \quad (4)$$

Коэффициент диаметра входного патрубка

$$K_{D_{\text{вх}}} = K_0 \sqrt{F_{\text{вх}} / F_0}. \quad (5)$$

Для насосов с прямоосным конфузорным подводом предполагаем, что момент скорости и меридианная скорость в горловине ЦК распределены равномерно, а поток не подкручивается подводом и задаем  $(rV_u)_{0e,c,a} = 1$ ,  $(V_{0m})_{e,c,a} = 1$ ,  $\kappa = 0$ , где  $e, c, a$  – линии тока на диаметре горловины колеса, на среднем геометрическом диаметре и втулке.

Далее рассчитываем параметры центробежного колеса насоса. Принимая во внимание ГОСТ 6134–2007 назначаем коэффициент запаса по кавитационному срыву  $k_{\text{IIIвх}} = \Delta h_{\text{доп}} / \Delta h_{\text{III}} = 1,2$ . Критический кавитационный коэффициент быстроходности рабочего колеса

$$C_{\text{III}} = n_n \sqrt{Q} / (\Delta h_{\text{III}} / 10)^{3/4} = 1949. \quad (6)$$

Втулочное отношение выбирается в пределах  $0 < \bar{d}_1 < 0,4$  и принято равным  $\bar{d}_1 = 0,2$ . Назначается относительная толщина входной кромки лопасти  $\bar{\sigma}_{1c} = 0,04$ . Для известных  $C_{\text{III}}$  и  $\bar{d}_1$  находим коэффициент приведенного входного диаметра  $K_0 = 5$ . После этого были получены следующие геометрические размеры рабочего колеса: диаметр горловины  $D_r = 104$  мм, диаметр втулки  $d_1 = 20,8$  мм. Число лопастей рабочего колеса принимаем  $Z_1 = 4$ . Входные размеры ЦК рассчитаны из условия работы без кавитационного срыва. Вышеперечисленные величины позволяют найти по уравнению Руднева [6] коэффициент кавитации для срывного режима (7)

$$\lambda_{\text{III}} = \left\{ \left[ \sin \beta_1 + \sqrt{\sin^2 (\beta_{1л} - \beta_1) + a \sin (2\beta_1 - \beta_{1л})} \right] / \left[ \sin \beta_{1л} - a \right] \right\}^2 - 1, \quad (7)$$

где  $\beta_1$  – угол относительного потока перед входной кромкой лопасти,  $a = K \sigma_1 / T_1$ ,  $K = 0,3$  – известный коэффициент проекции силы,  $\sigma_1$  – толщина входной кромки,  $T_1$  – шаг лопастей на входе. Так как уже найденный кавитационный запас (8) связан с абсолютной и относительной скоростями на входе  $V_1$  и  $W_1$ , то можно найти соответствующую толщину входной кромки лопасти  $\sigma_1 = 1,8$  мм.

$$2g\Delta h_{\text{III}} = V_1^2 + \lambda_{\text{III}} W_1^2 \quad (8)$$

Далее по [3] оцениваем скорость кавитационной эрозии лопастей рабочего колеса, которая оказалась пренебрежимо малой. Выбрав ширину ЦК, угол установки и толщину лопасти на выходе, находим выходной радиус колеса. По теории плоских гидродинамических решеток лопастей [7]:

$$R_2 = \frac{V_{2m}}{2\omega y \psi_2 \operatorname{tg} \beta_{2л}} + \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{1}{y} \left( \frac{gH_T}{1-k} + \omega(rV_u)_1 \right) + \left( \frac{V_{2m}}{2y\psi_2 \operatorname{tg} \beta_{2л}} \right)^2} = 172,7 \text{ мм} \quad (9)$$

В этом уравнении  $k$ ,  $y = (r_a/R_2)^2$ ,  $i = 1/b_2\psi_2 \operatorname{tg} \beta_{2л}$ ,  $H_T = H/\eta_T$ ,  $V_{2m} = Q/2\pi R_2 b_2 \eta_o$ , причем первые два параметра определяются по номограммам [7].

Для уменьшения средней относительной скорости и потерь энергии при входе в колесо, а также диффузорности межлопаточного канала принимаем угол установки лопасти  $\beta_{1лс} = 18,9^\circ$  и коэффициент стеснения  $\psi_{1с} = 0,85$ .

Угол  $\beta_{2л}$  установки лопасти на выходе из рабочего колеса выбирается на основании соображений, изложенных в работе [8]. При увеличении этого угла увеличивается диффузорность межлопаточного канала, уменьшается коэффициент реактивности, уменьшается наружный диаметр рабочего колеса, т.е. его радиальный габарит, изменяется форма напорной и мощностной характеристик. Согласно вышеизложенным рекомендациям по проектированию консольных насосов с незападающими напорными характеристиками берем  $\beta_{2л} = 15^\circ$  и получаем расходный параметр на расчетном режиме  $q_p = 0,254$ .

Для построения спирального отвода насоса выбираем коэффициент ширины отвода  $m_3 = 0,05$ , коэффициент диаметра выходного патрубка  $K_{D_{\text{вых}}} = 3,9$  и получаем следующие геометрические параметры спирального отвода: длина диффузора  $l_d = 240$  мм, ширина входа в отвод  $b_3 = 31,3$  мм.

В соответствии с [5] получены энергетическая и кавитационная характеристики насоса, показанные на рис 2.

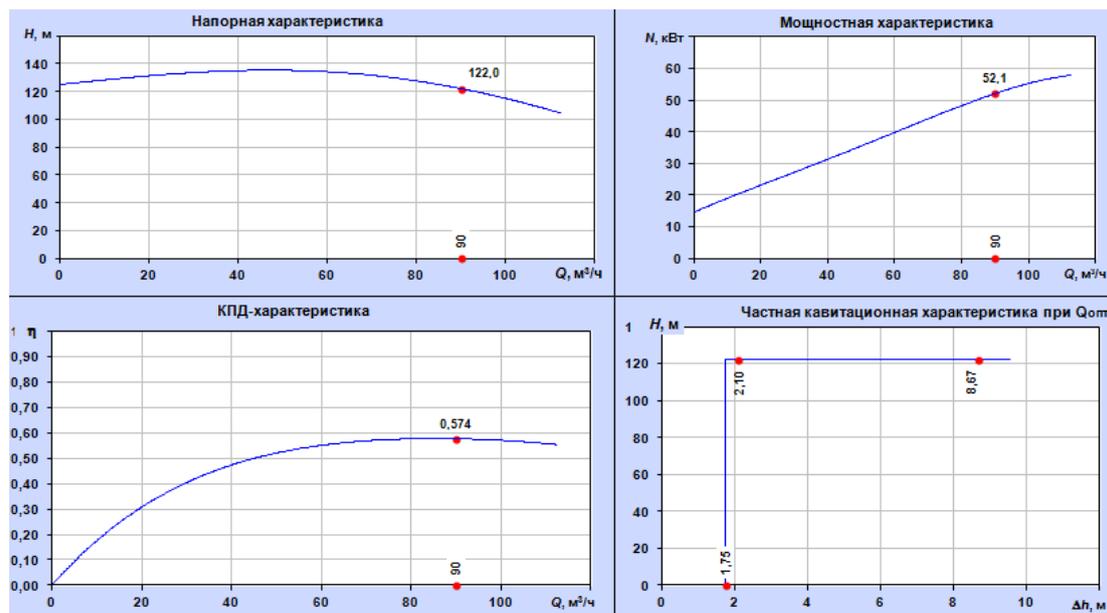


Рис. 2. Энергетическая и кавитационная характеристики проектируемого химического центробежного консольного насоса

### Список литературы

- [1] Мелашенко В.И. Исследование условий получения непрерывно падающей напорной характеристики центробежного секционного насоса: Автореф. дис...канд. техн. наук. – М.: МВТУ, 1967. – 14 с.
- [2] Насосы Щелковского насосного завода. Каталог-справочник. – М.: ЦБТИ, 1960. – 236 с.
- [3] Панайотти С.С., Кузнецов А.В., Савельев А.И. Автоматизированное проектирование многоступенчатого центробежного насоса: Учебное пособие. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 64 с.
- [4] Панайотти С.С., Савельев А.И., Кузнецов А.В. Автоматизированный расчет и проектирование высокооборотного шнекоцентробежного насоса: Учебное пособие. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 60 с.
- [5] Панайотти С.С., Савельев А.И. Автоматизированное проектирование одноступенчатого центробежного насоса / Учебное пособие. – Калуга, 2017. – 60 с.
- [6] Руднев С.С. Кавитация в решетке профилей конечной толщины // Лопастные насосы. Л.: Машиностроение, 1975. – С. 198–209.
- [7] Руднев С.С. Основы теории лопастных решеток. М.: Ротапринт МВТУ, 1976. – 78 с.
- [8] Руднев С.С., Матвеев И.В. Методическое пособие по курсовому проектированию лопастных насосов. – М.: Ротапринт МВТУ, 1974. – 72 с.

**Липин Евгений Сергеевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: [evgen.lipin8@yandex.ru](mailto:evgen.lipin8@yandex.ru)

**Панайотти Сергей Семенович** – д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [panaiotti@post.ru](mailto:panaiotti@post.ru)

**СЕКЦИЯ 10.**

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

## РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА КОНСУЛЬТИРУЮЩЕЙ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

### Построение деревьев решений

Одним из методов описания предметной области и связи между объектами является использование деревьев решений (ДР). ДР содержат в себе информацию о связи между объектами (понятиями) предметной области и ходе принятия решений (консультации ЛПР) [3,6,7].

ДР, соответствующее создаваемой ЭС, представлено на рис. 1.

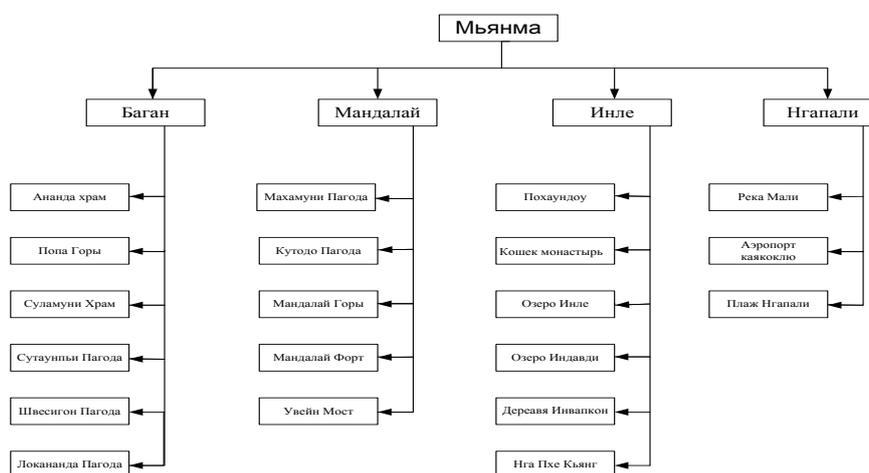


Рис. 1. ДР, соответствующее создаваемой консультирующей ЭС

### Маршрут в Багане

Баган – древний город в Бирме (Мьянма). Изначально город был назван, как Аримаддана (Город, повергающий врагов), также известный, как Медная, или Выжженная Земля.

Баган был представлен на включение в список мирового наследия ЮНЕСКО, но позже был исключен. Это место более не определяется как участок мирового наследия, и все это по вине властей – военной хунты Бирмы. Они восстановили древние храмы и здания, игнорируя оригинальные архитектурные стили и используя современные материалы, которые не имеют никакого сходства с оригинальными проектами. Хунта пошла еще дальше, установив 200-футовую пожарную вышку неподалеку от Багана, а также построив тут шоссе и большое поле для гольфа.

Для определения маршрута путешествия клиенту предлагается проконсультироваться у опытного специалиста-эксперта или воспользоваться

консультацией ЭС. Далее необходимо через туристическое агентство, которое также может быть рекомендовано ЭС (например, Exotic Myanmar Travel Agency), заказать авиабилеты и проживание в гостиницах.

На рис. 2 приведено ДР, соответствующее маршруту в Багане.

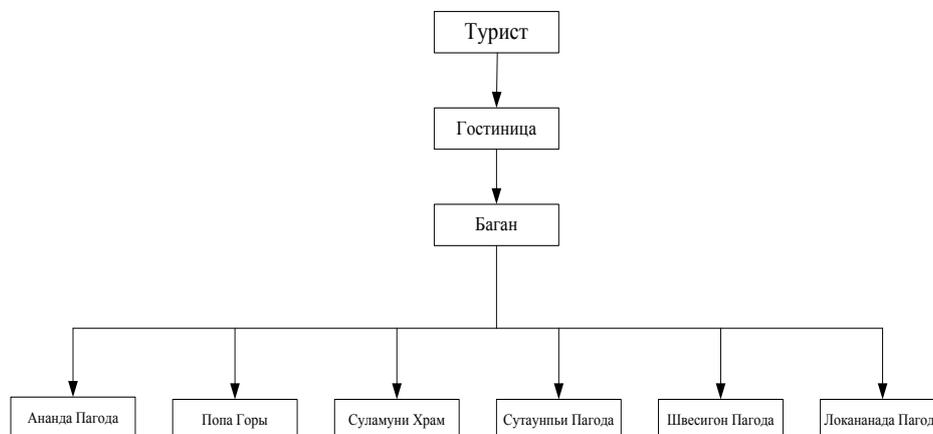


Рис. 2. ДР, соответствующее маршруту в Багане

В Багане самые лучшие места для туристов. Древние пагоды и храмы привлекают каждый год много туристов, путешествующих по Мьянме.

### Маршрут в Мандалае

Мандалай – последняя столица королей Мьянмы и второй по величине город в стране после Янгона. Это всемирно известный центр буддизма, в нем находится более 700 красивейших пагод. Основные достопримечательности: Амарapura – древний город королевской династии, где сейчас расположен монастырь Махагандайон. Среди уникальных реликвий города – самая большая в мире «Книга в камне» на 729 мраморных плитах, храм Махамуни, уникальная статуя Будды, при сооружении которой, по легенде, лично присутствовал Будда Шакьямуни (и наверняка давал ценные рекомендации).

На рис. 3. приведено ДР, соответствующее маршруту в Мандалае.

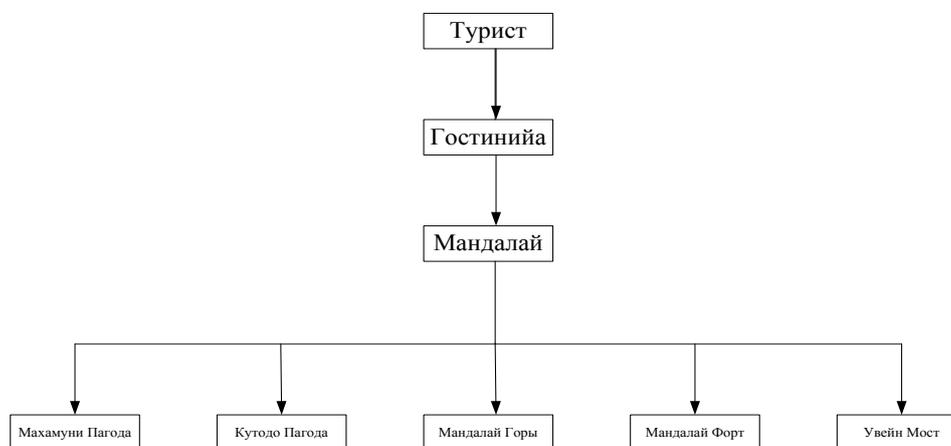


Рис. 3. ДР, соответствующее маршруту в Мандалае

Для определения маршрута путешествия клиенту предлагается проконсультироваться у опытного специалиста-эксперта или воспользоваться консультацией ЭС.

### Маршрут в Инле

Не более чем в часе полета от Янгона (а от Мандалая и Багана и того меньше) расположен город Хехо штата Шан. Имя штату дали таны - крупное межплеменное объединение горцев. Отдельные племена могут сильно отличаться друг от друга традициями и обычаями, но их объединяет язык – близкий к лаосскому – и тип внешности: это довольно рослые и красивые люди. Государство Шан, расположенное в горах, насчитывало не одну сотню лет, и пользовалось автономией даже во времена британского владычества, служа буфером и гарантом стабильности между британскими колониями и Китаем. Шаны - последовательные буддисты, в их землях много буддийских монастырей и мест паломничества. Спустя час пути от аэропорта до озера Инле туристы оказываются в мире, живущем по иным, непривычным европейцу законам, в другом временном измерении - словно в фантастическом романе о машине времени. В мире приозерных жителей царит уклад прошлых веков, с его жизненным темпом и обычаями.

На озере Инле люди живут буквально на воде. Строят дома на сваях, выращивают овощи и цветы на плавучих огородах, ловят рыбу, причем весьма экзотическими снастями. Монахи местного буддийского монастыря, в который можно добраться только на лодке, в перерывах между молитвами занимаются дрессировкой кошек.

На рис. 4. приведено ДР, соответствующее маршруту в Инле.

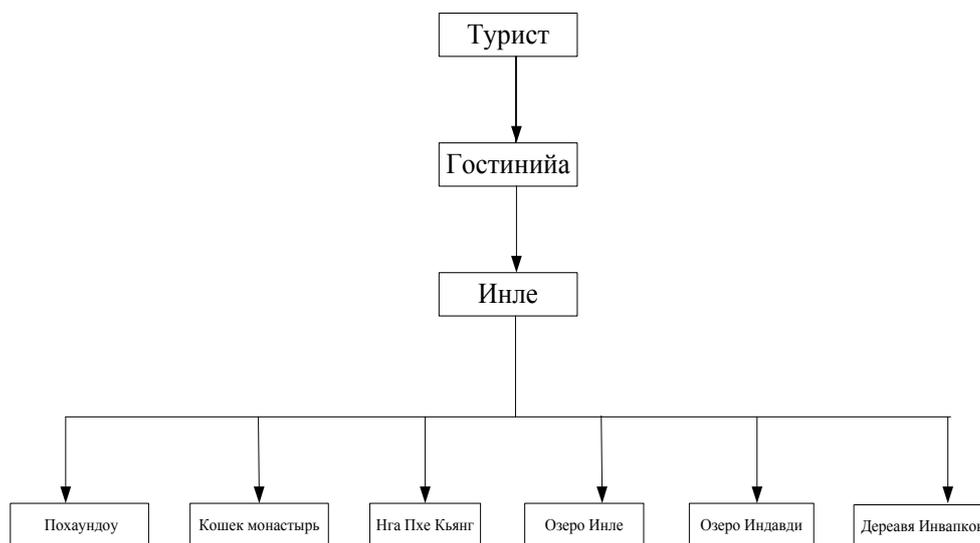


Рис. 4. ДР, соответствующее маршруту в Инле

Для определения маршрута путешествия клиенту предлагается проконсультироваться у опытного специалиста-эксперта или воспользоваться консультацией ЭС.

## Маршрут в Нгапли

Пляж Нгапали – полоса белого песка, на которой в линию выстроились пятизвездные отели. Здесь же, по соседству, занимаются своим нехитрым промыслом местные рыбаки, не обращая никакого внимания на загорающих пляжников-иностранцев. Из свежайших и разнообразных морепродуктов в местных гостиничных ресторанах готовят неповторимые экзотические блюда.

На рис. 5 приведено ДР, соответствующее маршруту в Нгапли.

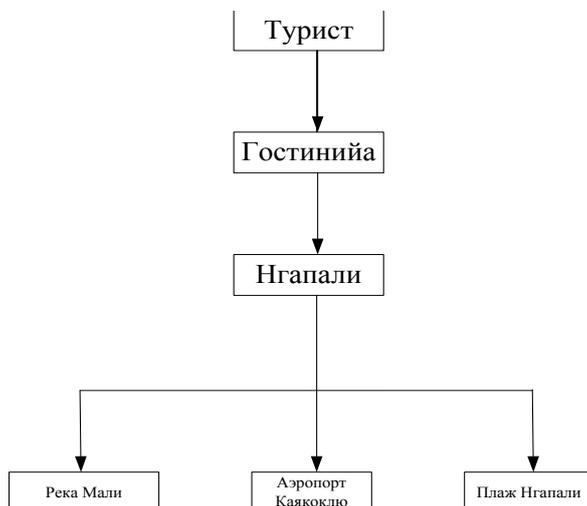


Рис 5. ДР, соответствующее маршруту в Нгапли

Для определения маршрута путешествия клиенту предлагается проконсультироваться у опытного специалиста-эксперта или воспользоваться консультацией ЭС. Далее необходимо через туристическое агентство, которое также может быть рекомендовано ЭС (например, Exotic Myanmar Travel Agency), заказать авиабилеты и проживание в гостиницах.

советов: необходимо взять собой фонарик, фумигатор, солнечные очки, солнцезащитный крем с высоким фактором защиты. Остальные советы, как везде на юге – ешьте только мытые фрукты, пейте воду из бутылок.

## Список литературы

[1] Экспертные системы Электронный учебник Курс лекций - <http://256bit.ru/Expert/Glava%2017/Index2.htm>

[2] Stephen R. Schach, Software Engineering, Second Edition, Richard D. Irwin, Chicago, IL, January 1993.

[3] Еремеев А.П., Чибизова Н.В. Инструментальные средства конструирования экспертных систем: Методическое пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 100 с.

[4] Рокотян И.С., Хачатурова Е.А. Разработка баз знаний на основе экспертной системы EXSYS. – М.: Издательство МЭИ, 1998. – 28 с.

[5] Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирования. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 1152 с.

[6] Джексон П. Введение в экспертные системы: Учебное пособие. Пер. с англ. – М.: «Вильямс», 2001. – 624 с.

**Зеар Аунг** – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [zayaraung53@gmail.com](mailto:zayaraung53@gmail.com)

А.О. Дадукин, Н.И. Пчелинцева

## **РЕАКТИВНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ RX НА ПРИМЕРЕ JAVARX**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

На сегодняшний день реактивное программирование широкого применения еще не нашло. Отсутствие материала на данную тематику только усугубляет положение. Обратимся к определению реактивного программирования:

Реактивное программирование (RX) базируется на понятии «событие». События, участвующие в передачи данных, связаны с распределенными изменениями. Существенно то, что в данной парадигме рассматривается не какой-то определенный набор данных, а абсолютно все данные будь то переменные, кеш, потоки ввода/вывода и многое другое.

RX сейчас ассоциируется с функциональным стилем. Дело в том, что конечный потребитель программного обеспечения рассчитывает на определенную своевременность передачи данных, например, Вы хотите моментально получать сообщения в социальных сетях, оплачивать покупки в интернет-магазинах в данный момент времени, сразу же узнавать об изменениях котировок акций. В связи с быстрорастущими запросами потребителей перед разработчиками встает непростая задача - как поддерживать постоянство уведомлений об изменениях данных? Более того, многие потребители не хотят получать все данные сразу, а группами.

RX – это инструмент, решающий довольно большое количество прикладных задач в декларативном стиле, близком к функциональному. Существует множество реализации этой парадигмы, одна из которых RxJava.

RxJava – это фреймворк для работы с RX парадигмой, обладающая следующими достоинствами [1]:

- Интуитивность (Unitive)
- RxJava позволяет писать запросы в таком же стиле как это реализовано в большинстве библиотек и решений
- Расширяемость (Extensible)
- RxJava позволяет дополнить запросы пользовательскими операторами. Java не позволяет сделать расширение в привычном виде, но делает это так же, как и в других реализациях RX.
- Декларативность (Declarative)
- Функциональные преобразования описаны в декларативном виде.
- Компонуемость (Composable)
- Операторы могут компоноваться для создания более сложных операторов.
- Морфология типов (Transformative)

- RxJava позволяет преобразовать один тип данных в другой, фильтруя, обрезая или расширяя потоки при необходимости.
- Подобные преимущества существенно расширяют сферу применимости данной парадигмы. Rx, стоит применять в следующих случаях:
- События, хранящие состояния, – «входящее сообщение», «корзина пуста», «заказ оформлен», «в календаре появилось новое событие» или связанные с пользовательским интерфейсом (onClick, onOptionsItemSelected)
- Инфраструктурные события (WebSockets)
- Обработка сложных событий (Complex event processings) [3]
- Паттерн «Promise» («Future»)

Одно из основных понятий в Rx: неизвестно, когда завершится поток, когда он выдаст ошибку или сгенерирует следующее значение. При этом у нас есть определенный контроль данных - мы можем подписываться на получение данных из потока и отписываться, когда данных больше нет.

Rx реализует паттерн *Observer* [4] и выделяет несколько ключевых понятий *Observables* и *Subscribers*.

Порождение данных происходит в *Observable* в строго определенном порядке: *Observable* генерирует некоторое количество данных (может ничего не генерировать), и завершает свою работу – либо успешно, либо с ошибкой.

Рассмотрим интерфейс *Observable*

```
interface Observer<T> {
    void onComplete();
    void onError(java.lang.Throwable e);
    void onNext(T t);
}
```

Описанные методы являются реакцией подписчиков на генерацию данных *Observable*. *onNext* может быть несколько или 0 раз, сопровождаясь единичным вызовом *onCompleted* или *onError*. После них вызовов больше не будет.

Следующим важным шагом в понимании является подписка на изменения данных. Для этих целей в библиотеке *JavaRx* предусмотрен метод *subscribe* и ниже представлена его ключевая перегрузка:

```
public final Subscription subscribe(Observer<? super T> observer)
```

Метод *subscribe* используется для получения данных, выдаваемых *observable*. Эти данные передаются наблюдателю, который предполагает их обработку в зависимости от требований потребителя. Наблюдатель в этом случае является реализацией интерфейса *Observer*.

*Subject* - расширения *Observable*, реализующие *Observer* интерфейс. Они могут получать сообщения (как *observer*) и генерировать их своим подписчикам (как *observable*).

Существует несколько реализаций Subject:

### 1. Publish Subject

*PublishSubject[2]* - самый просто представитель списка. В тот момент, когда данные помещаются в *PublishSubject*, subject отдает их каждому подписанному слушателю.

```
public static void main(String[] args) {  
    PublishSubject<Integer> subject = PublishSubject.create();  
    subject.onNext(3);  
    subject.subscribe(System.out::println);  
    subject.onNext(5);  
    subject.onNext(12);  
    subject.onNext(1);  
}
```

Результат:

```
5  
12  
1
```

Как можно наблюдать 3 не была выведена на экран, так как в момент генерации подписанных слушателей еще не было. В этот раз мы впервые использовали метод *subscribe*. Для подписки мы использовали перегрузку метода, принимающий Action<Integer> функцию, как результат работы метода *onNext()*.

### 2. Replay Subject

Отличительной особенностью *ReplaySubject[2]* является возможность кешировать результаты, помещенные в него. Когда очередной слушатель подписывается на изменения, в него помещаются данные, хранящиеся в стеке, и все последующие данные, поступающие по мере генерации.

```
ReplaySubject<Integer> s = ReplaySubject.create();  
s.subscribe(v -> System.out.printf("No cache stored:", v));  
s.onNext(0);  
s.onNext(1);  
s.subscribe(v -> System.out.printf("After cache created:", v));  
s.onNext(2);
```

Результат:

```
No cache stored: 0  
No cache stored: 1  
After cache created: 0  
After cache created: 1  
No cache stored: 2  
After cache created: 2
```

Если размер кеша не был задан, Subject будет кешировать все переданные значения. Кажется, такая практика не всегда применима, например,

когда нам нужно генерировать события на протяжении длительного времени. Существуют 2 способа ограничения размера кеша -

```
ReplaySubject.createWithSize (ограничивает размер)
ReplaySubject.createWithTime (ограничивает время хранения)
ReplaySubject<Integer> s = ReplaySubject.createWithSize(2);
s.onNext(0);
s.onNext(1);
s.onNext(2);
s.subscribe(v -> System.out.printf("After cache created:", v));
s.onNext(3);
```

Результат:

```
After cache created: 1
After cache created: 2
After cache created: 3
```

Можно заметить, что из кеша был удален 0, так как мы указали размер стека - 2.

### 3. Behavior Subject

*BehaviorSubject[2]* является частным случаем *ReplaySubject* и кеширует только последний результат. Также начальное значение может быть передано при создании экземпляра *Subject*.

```
BehaviorSubject<Integer> s = BehaviorSubject.create();
s.onNext(0);
s.onNext(1);
s.onNext(2);
s.subscribe(v -> System.out.println(v));
s.onNext(3);
```

Результат:

```
2
3
```

```
BehaviorSubject<Integer> s = BehaviorSubject.create(0);
s.subscribe(v -> System.out.println(v));
s.onNext(1);
```

Результат:

```
0
1
```

### 4. Async Subject

*AsyncSubject[2]* также кеширует последнее значение, за единственным исключением - он не генерирует ничего, пока последовательность не будет

завершена. Используется, когда необходимо выкрикнуть единственное значение и сразу же остановить генерацию.

```
AsyncSubject<Integer> s = AsyncSubject.create();  
s.subscribe(v -> System.out.println(v));  
s.onNext(0);  
s.onNext(1);  
s.onNext(2);  
s.onCompleted();
```

Результат:

2

Многие концепции, изложенные в этой парадигме имеют отношение к современной парадигме, что делает ее очень приближенной к реальности идеологией. В перспективе реактивное программирование может стать хорошей основой для будущей преемницы ООП-технологии.

### Список литературы

[1] Intro to RxJava. URL: <https://github.com/Froussios/Intro-To-RxJava> (Дата обращения: 01.04.2017)

[2] How To Use RxJava. URL: <https://github.com/ReactiveX/RxJava/wiki/How-To-Use-RxJava> (Дата обращения: 01.04.2017)

[3] Complex event processing. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Complex\\_event\\_processing](https://en.wikipedia.org/wiki/Complex_event_processing) (Дата обращения: 01.04.2017)

[4] Эрих Гамма, Ричард Хелм, Ральф Джонсон и др. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. Изд-во: Питер. 2016. 366 с.

[5] Design Patterns. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Design\\_Patterns](https://ru.wikipedia.org/wiki/Design_Patterns) (Дата обращения: 01.04.2017)

**Дадукин Александр Олегович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [alexanderdadukin@gmail.com](mailto:alexanderdadukin@gmail.com)

**Пчелинцева Наталья Ибрагимовна** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: [pchelintseva.n@yandex.ru](mailto:pchelintseva.n@yandex.ru)

Д.Н. Гусейнов, А.В. Артемов, Н.И. Пчелинцева

## **РЕШЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ГРАФОВ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

### **Введение**

Транспортная задача – математическая задача линейного программирования о поиске оптимального распределения однородных объектов из аккумулятора к приемникам с минимизацией затрат на перемещение.

Транспортная модель и ее варианты используются для составления наиболее экономичного плана перевозок одного вида продукции из нескольких пунктов (например, заводов) в пункты доставки (например, склады). Транспортную модель можно применять при рассмотрении ряда практических ситуаций, связанных с управлением запасами, составлением сменных графиков, назначением служащих на рабочие места, оборотом наличного капитала, регулированием расхода воды в водохранилищах и многими другими. Кроме того, модель можно видоизменить, с тем чтобы она учитывала перевозку нескольких видов продукции.

### **Цель исследования**

Изучение методов решения транспортной задачи с помощью теории графов.

Приведем примеры транспортной задачи в реальной жизни:

*Транспортные потоки.* Городское управление должно разработать план эвакуации людей из города в случае возникновения критических ситуаций. Какое минимальное время потребуется для эвакуации города в предположении, что мы можем регулировать транспортные потоки в такой степени, которая позволяет осуществить минимальную эвакуацию? Планировщики транспортных потоков могут ставить подобные вопросы, принимая решение, где строить новые дороги, мосты или туннели, которые способны смягчить проблему уличного движения в часы пик или в выходные дни.

*Надежность сети.* Упрощенная модель представляет телефонную сеть как некоторое множество проводов, которые соединяют телефонные аппараты через коммутаторы так, что существует возможность посредством переключений установить через магистральные линии коммутируемую линию связи, соединяющую любые два заданных телефонных аппарата. Каким будет максимальное число магистральных линий, которые можно отключить без нарушения связи между любой парой телефонных коммутаторов?

*Отсечение линий снабжения.* Когда та или иная страна ведет военные действия, она осуществляет материальное снабжение войск через систему взаимосвязанных дорог. Противник может прервать снабжение войск, нанося по дорогам бомбовые удары, при этом предполагается, что число бомб пропорционально ширине дороги. Какое минимальное число бомб понадобится противнику, чтобы лишить войска снабжения?

Существуют следующие методы их решения [3]:

*Итерационное улучшение плана перевозок.* Требуется определить опорный план и путем последовательных операций найти оптимальное решение. Опорный план можно найти следующими методами:

- метод северо-западного угла (диагональный или улучшенный);
- метод наименьшего элемента;
- метод двойного предпочтения;
- метод аппроксимации Фогеля.

После нахождения опорного плана, нужно применить один из алгоритмов приближения к оптимальному:

- метод падающего камня;
- метод потенциалов.

Решение с помощью теории графов. В настоящее время теория графов нашла очень широкое применение в программировании. Она стала активно применяться в программировании одновременно с использованием ЭВМ в силу удобного выражения задач обработки информации на теоретико-графовом языке. Графы являются очень естественным средством объяснения сложных ситуаций на интуитивном уровне.

#### **Транспортная задача с точки зрения теории графов**

Мы имеем пять вершин снабжения (от 0 до 4), пять вершин потребления (от 5 до 9) и двенадцать каналов (Рис. 1). Задача заключается в том, чтобы найти способ распределения материала по каналам минимальной стоимости с таким расчетом, чтобы поставки материала везде соответствовали спросу на него. В частности, нам нужно присвоить каналам такие веса (интенсивность распределения), чтобы сумма весов исходящих ребер была равна притоку материала в каждую снабжающую вершину; сумма весов входящих ребер должна быть равна суммарной потребности каждой потребляющей вершины; общая стоимость (сумма произведений весов на стоимость ребра для всех ребер) должна быть минимальной по всем присвоенным весам.

Когда суммарный объем предложений не равен общему объему спроса на товары, запрашиваемые пунктами потребления, транспортная задача

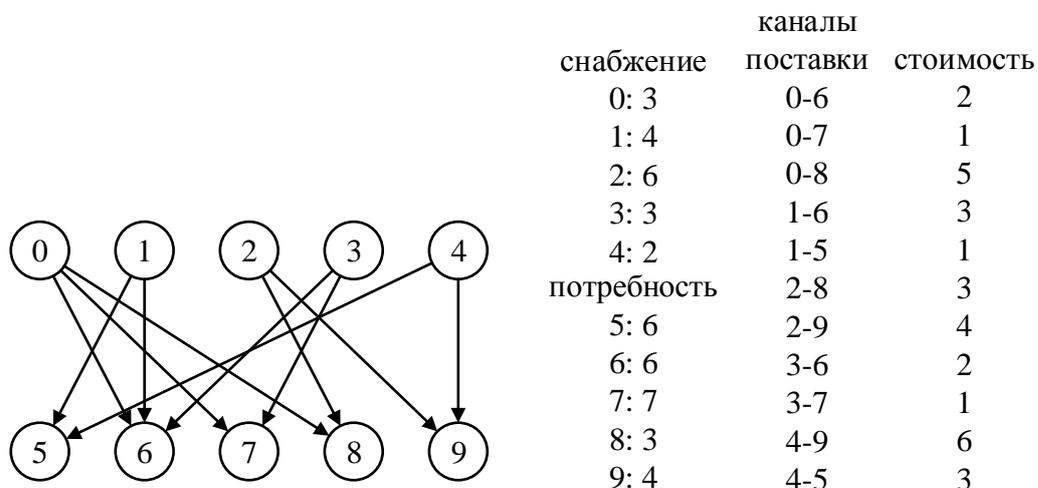


Рис. 1. Транспортная задача

называется несбалансированной (открытой). В данной статье мы будем рассматривать только сбалансированную задачу.

### Решение транспортной задачи

Рассматривается двудольный граф, в котором пункты производства находятся в верхней доле, а пункты потребления – в нижней. Пункты производства и потребления попарно соединяются ребрами бесконечной пропускной способности и цены за единицу потока. К верхней доле искусственно присоединяется исток. Пропускная способность ребер из истока в каждый пункт производства равна запасу продукта в этом пункте. Цена за единицу потока у этих ребер равна 0.

Аналогично к нижней доле присоединяется сток. Пропускная способность ребер из каждого пункта потребления в сток равна потребности в продукте в этом пункте. Цена за единицу потока у этих ребер тоже равна 0.

Дальше решается задача нахождения максимального потока минимальной стоимости (mincost maxflow). Для нахождения максимального потока используется алгоритм Форда-Фалкерсона.

### Алгоритм Форда-Фалкерсона (метод аугментального пути)

Эффективный подход к решению задачи о максимальном потоке был разработан Л.Р. Фордом и Д.Р. Фалкерсоном в 1962 г. Это обобщенный метод предусматривает инкрементное увеличение потоков вдоль пути от истока к стоку, который является основой для целого семейства алгоритмов. В классической литературе он известен под названием метода Форда-Фалкерсона, широкое распространение также получил более образный термин, метод аугментального пути.

Определения:

*Транспортная сеть* (Рис. 2) есть st-сеть с положительными весами ребер, которые называются пропускными способностями. Поток в транспортной сети есть множество ребер с неотрицательными весами, в дальнейшем реберными потоками, которые удовлетворяют требованию того, что ни один поток в ребре не может быть больше пропускной способности ребра и что суммарный поток, поступающий в каждую внутреннюю вершину, равен суммарному потоку, вытекающему из этой вершины.

Пропускная способность

0-1	2
0-2	3
1-3	3
1-4	1
2-3	1
2-4	1
3-5	2
4-5	3

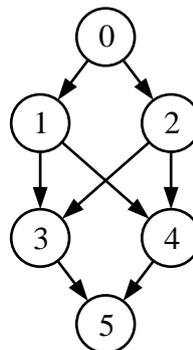


Рис. 2. Транспортная сеть

*Максимальный поток.* Пусть задана  $st$ -сеть, найти такой поток, что никакой другой поток из  $s$  в  $t$  не обладает большей мощностью. Такой поток называется максимальным потоком, а задача построения такого потока в сети называется задачей о максимальном потоке.

Алгоритм:

Рассмотрим произвольный ориентированный путь (не обязательно простой) из истока в сток в  $st$ -сети. Ребра такого пути относятся либо к категории прямых ребер, направления которых совпадают с направлением потока (когда мы следуем по пути из истока в сток, мы идем по ребру из его начальной вершины в его конечную вершину), либо к категории обратных ребер, которые направлены против потока (при общем направлении из истока в сток, мы идем вдоль ребра из его конечной вершины в его начальную вершину). Теперь мы имеем возможность нарастить поток в сети по любому пути за счет увеличения потоков в прямых ребрах и уменьшения потоков в обратных ребрах. Величина, на которую поток может быть увеличен, ограничивается минимальной неиспользованной пропускной способностью и потоком в обратных ребрах. В новом потоке, по меньшей мере, одно из прямых ребер, включенных в путь, заполняется, либо одно из обратных ребер, включенных в путь, становится пустым.

Описанный выше процесс служит основой классического алгоритма Форда-Фалкерсона вычисления максимального потока (алгоритм аугментального пути).

Сформулируем его следующим образом:

Начните выполнение алгоритма в любом месте сети. Нарращивайте поток вдоль произвольного пути из истока в сток, содержащего незаполненные ребра или пустые обратные ребра, продолжая эту процедуру до тех пор, пока не останется в сети ни одного такого пути.

Простейшая реализация алгоритма Форда-Фалкерсона использует кратчайший аугментальный путь (измеренный по числу ребер, образующих этот путь, а не по потоку или по пропускной способности). Этот метод был предложен Эдмондсоном и Карпом в 1972 г, она может быть описана следующим образом: выполняется наращивание вдоль пути, который увеличивает поток на наибольшую величину.

### **Максимальный поток минимальной стоимости**

Определения:

*Стоимость потока через ребро* в транспортной сети со стоимостями ребер есть произведение потока в этом ребре и стоимости.

*Стоимость потока* есть сумма стоимостей потоков в ребрах этого потока.

*Максимальный поток с минимальной стоимостью.* Пусть задана транспортная сеть, ребра которой наделены стоимостями, найти такой максимальный поток, стоимость которого меньше стоимости любого другого максимального потока.

Пусть задан поток в транспортной сети со стоимостями ребер, *остаточная сеть* для этого потока содержит те же вершины, что и исходная

сеть, и одно или два ребра этой остаточной сети соответствуют каждому ребру в исходной сети и определяются следующим образом: пусть для каждого ребра  $u-v$  в исходной сети  $f$  есть поток,  $c$  есть пропускная способность их – стоимость. Если  $f$  положителен, ребро  $u-v$  включается в остаточную сеть, при этом ему присваивается пропускная способность  $f$ , и стоимость  $-x$ ; если  $f$  меньше, чем  $c$ , ребро  $u-v$  включается в остаточную сеть с пропускной способностью  $c-f$ , со стоимостью  $-x$ .

*Максимальный поток является максимальным потоком минимальной стоимости тогда и только тогда, если его остаточная сеть не содержит (ориентированного) цикла с отрицательной стоимостью.*

Это свойство приводит к простому обобщенному алгоритму решения задачи о потоке минимальной стоимости и соответственно решения транспортной задачи, получившего название алгоритма вычеркивания циклов:

Найти максимальный поток (алгоритм Форда-Фалкерсона). Увеличить поток в произвольном цикле с отрицательной стоимостью в остаточной сети, продолжая эту процедуру до тех пор, пока не останется ни одного такого цикла.

### **Заключение**

Таким образом мы получили алгоритм решения транспортной задачи с помощью теории графов. Для это сначала вычисляется максимальный поток алгоритмом Форда-Фалкерсона. В полученной транспортной сети запускается процедура увеличения потока в произвольном цикле с отрицательной стоимостью в остаточной сети. Она продолжается до тех пор, пока не останется ни одного такого цикла.

### **Список литературы**

[1] Гольштейн Е.Г., Юдин Д.Б. Задачи линейного программирования транспортного типа. - М.: Наука, 1969. - 382с.

[2] Транспортная задача линейного программирования [Электронный ресурс] URL: [http://math.semestr.ru/transp/model\\_transport.php](http://math.semestr.ru/transp/model_transport.php) (дата обращения 30.03.2017)

[3] Транспортная задача [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Транспортная\\_задача](https://ru.wikipedia.org/wiki/Транспортная_задача) (дата обращения 30.03.2017)

[4] Д.Э. Кнут, Искусство программирования, том 1: Основные алгоритмы, 3-е издание, ИД "Вильямс", 2008 г.; Д.Э. Кнут, Искусство программирования, том 2: Получисленные алгоритмы, 3-е издание, ИД "Вильямс", 2008 г.; Д.Э. Кнут, Искусство программирования, том 3. Сортировка и поиск, 2-е издание, ИД "Вильямс", 2008 г.

**Гусейнов Давид Нариманович** – студент КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана. E-mail: avi2dg@gmail.com

**Артемов Антон Владимирович** – студент КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана. E-mail: anton.artemov2011@yandex.ru

**Пчелинцева Наталья Ибрагимовна** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Программное обеспечение ЭВМ, информационные технологии и прикладная математика» КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана. E-mail: pchelintseva.n@yandex.ru

**СЕКЦИЯ 11.**

**ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ  
ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Н.С. Лазарев

## **АНАЛИЗ ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВХОДНОГО МОДУЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПРИЕМНИКА**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

### **Введение**

Современные радиолокационные станции (РЛС) и приемная аппаратура СВЧ-диапазона нуждается в защите входных цепей приемника от СВЧ-сигналов «собственного» передатчика, сигналов соседних РЛС и других внешних СВЧ-сигналов, способных вызвать нарушение работы приемника. Данную функцию в таких приемниках выполняют электронные элементы СВЧ-тракта под названием защитное устройство (ЗУ) или ограничитель мощности.

К настоящему времени разработано большое количество типов ЗУ. Продолжающееся освоение новых участков частотно-энергетического диапазона сопровождается ростом требований к ограничителям мощности. От правильного выбора ЗУ непосредственно зависит надежность работы приемного устройства и всей системы в целом.

Целью работы является анализ основных типов защитных устройств, рассмотрение принципа работы ограничителя мощности, а также выбор типа защиты от СВЧ-сигналов входного модуля для радиолокационного приемника

### **Принцип работы защитного устройства**

Независимо от типа ЗУ, его работа основана на некотором переходе из одного состояния в другое, в зависимости от уровня СВЧ-мощности. В состоянии пропускания ЗУ пропускает принимаемый сигнал с минимальным ослаблением и без искажений его формы. Такому состоянию соответствует режим низкого уровня мощности, т.е. уровень мощности входного сигнала ниже некоторого порогового значения для данного ЗУ, а его импеданс равен характеристическому сопротивлению линии передачи. К допустимому уровню мощности относится такое наибольшее значение, при воздействии которого в течение всего срока службы устройства не вызовет изменений в значении электрических параметров устройства. Если уровень входной мощности, падающий на ЗУ, превышает некоторое пороговое значение, то оно мгновенно переходит в состояние запирающего, т.е. значительно ослабляет входной сигнал

Типичные отказы диодов и транзисторов, расположенных во входных цепях, при воздействии СВЧ-мощности высокого уровня, обусловлены превышением критической температуры или пробивного напряжения, а чаще всего - обоими факторами. Температура полупроводникового прибора под действием СВЧ-мощности определяется амплитудой входного сиг-

нала и соотношением между длительностью СВЧ-импульса и временем тепловой релаксации полупроводникового прибора [1]

### **Газоразрядные защитные устройства**

Резонансный разрядник (РР) – герметизированный и частично или целиком газонаполненный отрезок волноводной (коаксиальной) линии передачи либо герметизированная и наполненная газом колба, устанавливаемая в линию передачи. При низком уровне входящей СВЧ-мощности РР является резонансным или полосовым фильтром пропускания. Запирающее состояние в данных газоразрядных защитных устройствах (ГЗУ) возникает за счет образования разряда в разрядных промежутках под действием входной мощности, превышающей пороговое значение. Возникший СВЧ-разряд вызывает резкое уменьшение полного сопротивления в разрядных промежутках до значений, меньших характеристического сопротивления линии, вследствие чего большая часть подводимой СВЧ-мощности отражается и лишь частично поглощается в РР.

Чаще используется многокаскадные ГЗУ, т.е. каждый из разрядных промежутков пробивается при определенном критическом значении мощности.

Основным газом, которым наполняют РР является аргон при давлении 650-665 Па. Для уменьшения времени восстановления данного ГЗУ к аргону добавляют пары воды. Давление смеси и соотношение компонентов выбираются с учетом заданных диапазоном частот, режимов работы и прочего. Долговечность РР зависит от таких процессов, как напыление металла на диэлектрические стенки РР, разрушение электродов из-за ионной бомбардировки, химических реакций и т.д. [1]

Наибольший скачок в развитии газовых разрядников приходится на введение радиоактивных элементов (например, титановой пленки, покрытой насыщенным тритием) в зону, заполненную газом, для обеспечения «поджига» газового разряда с относительно низким значением внешнего электрического напряжения. Ранее для «поджига» необходимо было подавать большое внешнее напряжение порядка сотен вольт через специальный электрод, что было весьма неудобно, особенно для защиты выключенной аппаратуры.

Газовые разрядники выпускаются во многих вариантах и могут отличаться по допустимой входной мощности и по просачивающейся мощности. В зависимости от этого различают разрядники предварительной и окончательной защиты приемника. Основной недостаток газоразрядных ЗУ – малая скорость срабатывания. Довольно продолжительным является время восстановления, определяемое временем рассасывания плазмы газового разряда после окончания импульса передатчика. Другой недостаток – большое потребление мощности, обусловленное недостаточной высокой проводимостью газового разряда [2]

### **Ферритовые защитные устройства**

Ферритовые защитные устройства (ФЗУ) сочетают в себе свойства магнитов и электрических изоляторов. Ограничительные свойства ФЗУ

основаны на следующем: при прохождении СВЧ-мощности выше некоторой пороговой энергия СВЧ-поля переходит в тепловую энергию колебаний кристаллической решетки феррита, т.е. мощность не отражается, а поглощается - таким образом происходит поглощение СВЧ-сигнала. Этот эффект наблюдается только в очень узкой полосе частот. Сильное поглощение делает критичным среднее значение входной мощности. Превышение средней входной мощности вызывает разогрев феррита, температура которого может стать выше температуры Кюри (~130°C). В таком случае происходит резкое изменение свойств ограничителя, и он становится практически неработоспособным.

Одним из важнейших достоинств такого ЗУ является его быстродействие, порядка 10-50 нс. Дополнительное поглощение СВЧ-сигнала в поликристаллических ферритах при продольном или поперечном намагничивании внешним постоянным магнитным полем является основой мощных волноводных ограничителей. В таких ограничителях обычно поликристаллические стержни ориентированы вдоль Е-плоскости, например, вдоль узкой стенки волновода. Такая конструкция обеспечивает хороший теплоотвод на корпус [1].

При создании ФЗУ в миллиметровом диапазоне возникают сложности, связанные с получением больших намагничивающих полей, а в сантиметровом диапазоне – с высокой намагниченностью.

### **Полупроводниковые защитные устройства**

Полупроводниковые ЗУ представляют собой отрезок СВЧ-линии передачи с включенными в него последовательно или параллельно коммутирующими полупроводниковыми элементами (чаще всего диодами). Полупроводниковые ЗУ имеют более низкий уровень просачивающейся мощности по сравнению с ГЗУ, что необходимо для малошумящих входных усилителей, более широкую рабочую полосу, большую возможность миниатюризации и т.д. Но такие ограничители имеют невысокую стойкость к электрическим перегрузкам, максимально допустимая импульсная входная мощность на порядок ниже, чем у РР. Полупроводниковые ЗУ уязвимы к радиации, причем, радиационная стойкость ограничителей на *p-i-n*-диодах снижается с увеличением толщины *i*-того слоя.

*p-i-n*-диоды управляются постоянным напряжением, при этом, как следствие, меняются ток, сопротивление и емкость внутренней *i*-области. Возможность управления импедансом делает *p-i-n*-диоды основой в разработке РЧ-и СВЧ-устройств, таких как переключатели, ограничители, фазовращатели и т.д. Структура *p-i-n*-диода и его эквивалентные схемы приведены на рис. 1. Быстрый отклик *p-i-n*-диодов на воздействие ВЧ и СВЧ-сигналов, хорошие температурные свойства, известная коммутируемая мощность в расчете на единичный объем кремния и экономическая эффективность делают их применение принципиально необходимыми РЧ- и СВЧ-технике [1,2]

Для ограничения РЧ-мощности используются  $p-i-n$ -диоды, включенные параллельно, поскольку в этом случае поддерживается высокий уровень ослабления и хороший отвод тепла. При отсутствии мощного падающего РЧ сигнала сопротивление ограничительного диода максимально,



Рис. 1. Структура  $p-i-n$ -диода и его эквивалентные схемы [3]

что обеспечивает ослабление не более 0,5 дБ. Когда большой РЧ-сигнал падает на ограничительный диод, импеданс переходит в область низких значений и падающий сигнал отражается обратно к источнику.

Для увеличения затухания используют многокаскадные ограничители. Как правило, на входе цепи первым идет диод с толстым  $i$ -слоем, а на выходе цепи – с тонким  $i$ -слоем. Число каскадов и толщина  $i$ -слоя (основной критерий для выбора ограничительного диода) зависят от необходимого затухания, допустимой мощности и требований к просачивающемуся уровню при максимальной мощности импульса, падающего на приемный участок цепи, которая подлежит защите. Каскады ограничителя разносятся на четверть длины волны ( $\lambda/4$ ) для заданной частоты [3]

### Гибридные защитные устройства

Гибридные защитные устройства представляют собой многокаскадные устройства, выполненные с различными по принципу действия каскадами защиты. При создании таких многокаскадных ограничителей используемые ЗУ объединяются не механически, а оптимизируются, что позволяет улучшить их имеющиеся характеристики. В основном применяются гибридные ограничители, состоящие из газоразрядных, полупроводниковых и ферритовых ЗУ. Исторически, первыми были газоразрядно-полупроводниковые ЗУ, с помощью которых решались две задачи: во-первых – снижение энергии пика просачивающейся мощности неуправляемых ЗУ при уменьшении шумовой температуры, и во – вторых – обеспе-

чение работоспособности ЗУ в достаточно жестких, квазинепрерывных режимах работы при достаточно высоком быстродействии ( $<1$  мкс) [1]

#### Выводы

Рассмотрены основные достоинства и недостатки одних из самых распространенных типов ЗУ. Для входного модуля РЛ приемника оптимальным ЗУ является полупроводниковое защитное устройство на *p-i-n*-диодах, так как оно имеет ряд преимуществ по сравнению с другими:

- Высокое быстродействие;
- Относительно низкая просачиваемая мощность;
- Широкая рабочая полоса;
- Высокая способность к миниатюризации;
- Возможность изготовления всего тракта по единой технологии

#### Список литературы

[1] *Ропий А.И., Старик А.М., Шутков К.К.*, Сверхвысокочастотные защитные устройства – М.: «Радио и связь», 1993. – 128 с.

[2] *Алыбин В. Г.*, Проблемы создания СВЧ-защитных устройств для радиолокации и связи, URL: [http://naukainform.kpi.ua/CriMiCo/Crimico/2002/015\\_022.pdf](http://naukainform.kpi.ua/CriMiCo/Crimico/2002/015_022.pdf) (дата обращения 14.03.2017)

[3] *Кузьмин С.*, Современные интегральные переключатели и ограничители на высокий уровень мощности для поверхностного монтажа, 2015, URL: [http://vestnikmag.ru/wp-content/uploads/2015/03/VE\\_1512015\\_web.pdf](http://vestnikmag.ru/wp-content/uploads/2015/03/VE_1512015_web.pdf) (дата обращения 14.03.2017)

[4] *Николаев С.В., Шаповалова В.В., Кротов И.В.*, Диодные защитные устройства СВЧ, URL: [http://mwelectronics.ru/2014/Poster/3/P03\\_06\\_NicolaevSV\\_Diodnye\\_zashchitnye\\_ustroistva.pdf](http://mwelectronics.ru/2014/Poster/3/P03_06_NicolaevSV_Diodnye_zashchitnye_ustroistva.pdf)

[5] *Антоненко Н.С., Сачук И.И.*, Методы и устройства защиты радиотехнических систем от мощных электромагнитных излучений, URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/soivt\\_2015\\_2\\_16.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/soivt_2015_2_16.pdf)

**Лазарев Николай Сергеевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
E-mail: [lazarevnikolay05@gmail.com](mailto:lazarevnikolay05@gmail.com)

Аунг Чжо Чжо, В.С. Зайончковский, А.Я. Колган, П.А. Быков

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИИ ПЛЕНОК СИСТЕМЫ V-SU К ОКИСЛЕННОМУ КРЕМНИЮ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Одним из главных параметров контактных слоев к монокристаллическому кремнию или его оксидам является величина адгезии [1-3]. Известны несколько способов ее измерения: склерометрия, метод отрыва петли и метод нормального отрыва. Наиболее простыми в плане технической реализации, являются способы нормального отрыва и отрыва петли. На кафедре «Материаловедение» КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана собрана установка для измерения силы адгезии, которая собрана на основе штатива для крепления электродрели, пары винт-гайка М12, реверсивного электродвигателя РД-09 и электронного безмена типа [4], (см. рис. 1).

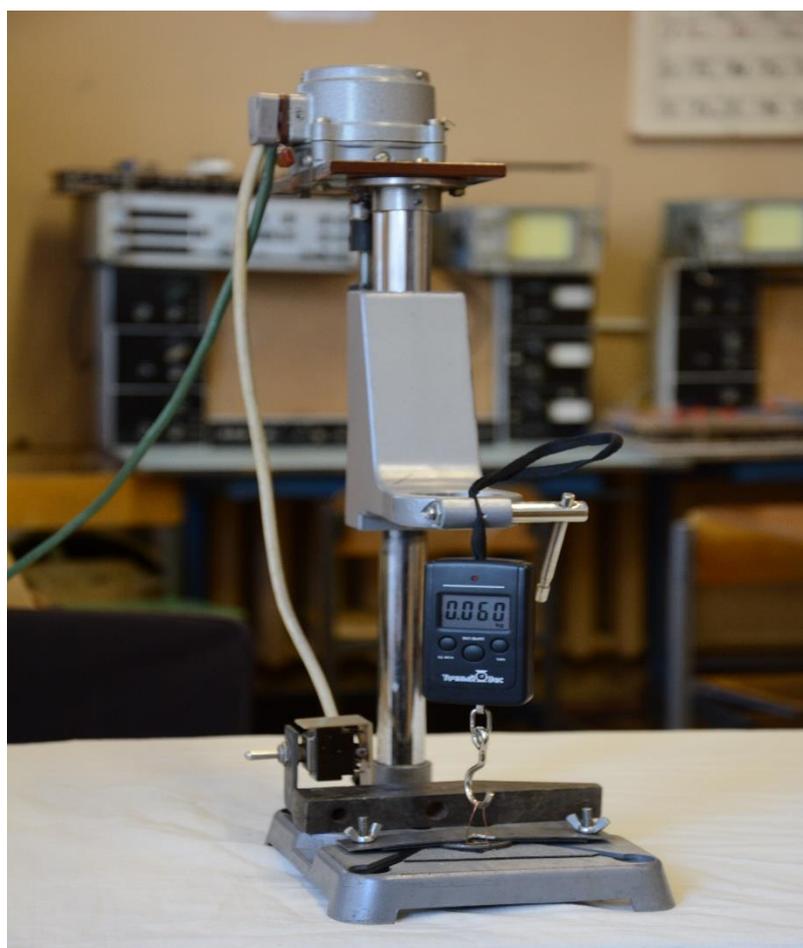


Рис. 1. Вид установки для измерения силы адгезии

Пленки состава V-Cu напылялись на модернизированной установке УВН-71ПЗ, [5], через трафарет, имеющий отверстия диаметром 1,6 мм, расположенные в виде матрицы с шагом по двум осям 5 мм. Напыление пленок производилось при температуре подложек 330<sup>0</sup>С методом магнетронного напыления на постоянном токе. Толщина слоя ванадия - 0,2 мкм, слоя меди - 1 мкм.

В качестве исходных подложек были выбраны сильно-легированные подложки кремния n- типа. Одна подложка имела естественный окисел, а вторая была - с оксидом кремния толщиной 0,3мкм. Сила адгезии определялась двумя способами – методом нормального отрыва и методом отрыва петли. В методе нормального отрыва к контактной площадке припаивался латунный крюк из проволоки диаметром 1.2 мм, при этом ножка крюка припаивалась перпендикулярно к контактной площадке. В методе отрыва петли - к двум соседним контактными площадкам припаивали медную проволоку диаметром 0.4 мм.

В обоих случаях пайка велась сплавом Розэ при температуре 160<sup>0</sup>С.

Результаты испытаний на отрыв представлены в таблице 1. В таблице введены обозначения: а – отрыв медного слоя от слоя ванадия, б - контактной площадки со слоем кремния.

Таблица 1. Измерение силы отрыва в (ньютонах) крюка и петли

№	Пластина с естественным окислом		Пластина с окислом толщиной 0,3мкм	
	Метод нормального отрыва	Метод петли	Метод нормального отрыва	Метод петли
1	0,11* (а)	13,30(а)	4,95(а)	11,90(а)
2	4,90 (б)	14,30(а)	8,6(а)	7,60(а)
3	3,40(б)	5,25(а)	0,80(а)	9,25(а)
4	3,25(б)	24,75(б)	13,15(а)	1,550(а)
5	3,10(а)	5,45(а)	0,40*(а)	9,85(а)
6	1,90(а)	8,35(а)	5,50(а)	5,35(а)
7	3,10(а)	8,65(а)	8,70(а)	8,25(а)
8	4,35(б)	16,50(а)	6,30(а)	10,15(а)
9	9,85(б)	24,45(б)	0,19(а)	4,45(а)
10	11,30(б)	17,45(а)	0,46(а)	6,50(а)

Итоговые результаты измерений силы адгезии в ньютонах сведены в таблицу 2. При этом отброшены как промахи результаты, приведенные в таблице 1 и помеченные знаком – (\*).

Таблица 2. Итоговые результаты измерений силы адгезии пленок системы V-Cu

	Пластина с естественным окислом		Пластина с окислом толщиной 0,3мкм	
	Метод нормального отрыва	Метод петли	Метод нормального отрыва	Метод петли
P, Н	3,33±1,09	13,8±1,96	5,0±1,50	8.75±0,98
P max, Н	11,3	24,75	13.2	15.5
P min, Н	1,9	5,25	0,8	5,3

### Заключение

Проведенные исследования показали, что метод отрыва петли обеспечивает более высокие значения силы отрыва. Это может быть связано с тем, что установка ножки крюка при припайке не устанавливалась строго вертикально. Кроме того, для пластины с естественным окислом сила адгезии была выше, чем с термическим окислом. Отрыв некоторых контактных площадок вместе с нижележащим слоем кремния свидетельствует о том, что реальная сила адгезии пленок V-Cu к кремнию с естественным окислом может превосходить прочность кремния, в то время, как в случае с термическим окислом, измерялась именно истинная сила адгезии.

### Список литературы

- [1] Чебурахин И.Н., Ворожбитов А.И. Оценка адгезии тонких пленок в структуре "Металл-диэлектрик" // Датчики и системы ISSN: 1992-7185. – 2012.
- [2] Ткачева Т.М., Иванова Л.М., Демаков К.Д., Шахов М.Н. Напряжения и адгезия поликристаллических пленок 3C-SiC, выращенных методом осаждения из газовой фдзы на кремниевых подложках // Материалы электронной техники. – 2012. – №4. – С.24–27.
- [3] Наумов В.В., Бочкарев В.Ф., Бучин Э.Ю. Увеличение адгезии металлических пленок к кремнию с помощью ионной бомбардировки в процессе их роста. – Ярославский филиал Физико-технологического института РАН, 150007 Ярославль, Россия // Журнал технической физики, 2009. – Т.79, вып.7. – С.146–149.
- [4] <http://www.dmazay.ru/index.php?productID=7713>
- [5] Лазарев Н.С., Зайончковский В.С., Расторгуев И.А., Скипер А.В. Модернизация установки вакуумного напыления УВН-71ПЗ // Научная дискуссия: инновации в современном мире. – Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "Интернаука" М.: ISSN:2309-1959, 2016. – №7(50) . – С.66–72.

**Аунг Чжо Чжо** – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: akkyaw.bmstu.50@gmail.com

**Зайончковский Вячеслав Станиславович** – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vz48@post.ru

**Колган Александр Яковлевич** – инженер-конструктор 2 категории. E-mail: vz48@post.ru

**Быков Павел Андреевич** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: pawel.byckoff@yandex.ru

И.Р. Бережанский, С.А. Адарчин, Н.С. Кулагина

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФИНИШНЫХ ПОКРЫТИЙ ВЫВОДОВ ЧИП – ЭЛЕМЕНТОВ**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Пайка для формирования электрического контакта используется уже более ста лет. Повышенное внимание этому процессу при сборке электроники всегда было обусловлено наличием проблем, связанных с обеспечением качества и надежности получаемых при этом соединений. В представленной работе проводится анализ и предлагаются пути решения одной из проблем, возникающих при пайке серийных изделий.

Процесс пайки влияет на такие параметры изделий электроники, как габаритные размеры и материал соединяемых деталей, требования к виду и состоянию поверхности соединяемых деталей и, наконец, режимы самого процесса пайки. С позиции получения качественного паяного контакта необходимо обеспечить совместимость всех этих факторов.

Десятки лет пайка свинцовыми припоями использовалась практически во всей электронной промышленности и достигла высокого уровня, но, после того, как загрязнения свинцом и его соединениями приобрело глобальные масштабы, стала актуальной задача обеспечения качества паяных контактов при бессвинцовой технологии производства. Однако стоит отметить, что бессвинцовая технология пайки требует применения соответствующих радиоэлектронных компонентов, адаптированных для пайки припоями без свинца, т.к. по сравнению с обычными свинцовыми припоями припой без содержания свинца имеют пониженные характеристики по смачиваемости и текучести и требуют соблюдения дополнительных технологических мер при пайке. Таким образом, целью исследования является определение причин возникновения однотипных дефектов при серийном бессвинцовом производстве изделий электроники, характеризующихся наличием локальных областей отсутствия смачивания поверхности элементов при пайке и наличием пор в паяных контактах. Данные дефекты могут оказывать влияние на надежность паяных соединений, так как они ведут к увеличению электрического и теплового сопротивления, а также снижают механическую прочность соединений.

Типовые структуры чип конденсатора и чип резистора из-за массовости их применения были рассмотрены в работах [1,2]. Следует отметить, что в зависимости от области применения и стоимости элементов структура выводных контактов таких элементов может включать как покрытия на базе сплавов Ag/Pd, которые могут заменяться на более дешевые, к примеру, медные. Медь увеличивает твердость и понижает эрозию серебра особенно в области эвтектических сплавов, но ухудшает коррозионные свой-

ства. Отличительной особенностью серийных чип - элементов является применение промежуточного слоя никеля, выполняющего как защитную функцию от коррозии, так и барьерную - предотвращение миграции ионов благородных металлов из массы чип - элементов в паяный контакт. Такое покрытие предотвращает временную деградацию составляющих компонентов. В качестве финишных покрытий выводов чип - конденсаторов и чип -резисторов сегодня наиболее часто применяют покрытие оловом, которое обеспечивает хорошую надежность и лучшие прочностные характеристики паяных соединений.

Любое инженерное решение, будь то конструкторское или технологическое, требует комплексного, системного подхода в обеспечении оптимального сочетания наложенных граничных условий. Для современной электроники граничные условия определяются совокупностью технических, экологических и экономических требований.

Применяемый в настоящее время набор материалов (таких как Sn, Sb, Al, Ag, Ni, Pd, In, Cu, Au и т.д) не является оптимальным с позиций надежности и технологичности. Известно [1], что олово быстро теряет свою способность к пайке. А никель, в свою очередь, отличается довольно плохой способностью к пайке и требует серьезной предварительной подготовки поверхности перед операцией [2, 3]. Однако, учитывая экономическую эффективность и экологические требования при поиске оптимальной композиции материалов, современные изготовители чип компонентов нашли оптимум именно в этом наборе.

Часть технологии изготовления исследуемых чип компонентов, которую исследовали при выполнении работы, включала последовательность следующих операций:

- Формирование первичных контактов из сплава Pd/Ag по толсто пленочной технологии [4] с применением толсто пленочных материалов;
- Формирование барьерного слоя путем электрохимического осаждения никеля.
- Создание финишного покрытия оловом для обеспечения «паяемости» компонента. Наиболее часто используется электрохимическое осаждение олова.

Известно, что применяемые процессы могут приводить к наследованию и развитию дефектов, существующих в базовых слоях [4], на которых выращиваются покрытия. В рассматриваемом случае толсто пленочное покрытие на базе сплавов Pd/Ag и пр. имело неоднородную структуру. Толсто пленочные покрытия имели зернистую структуру, а в случае малой толщины на поверхность выходили следы фритты, имеющей диэлектрические свойства.

Подобные дефекты являлись типовыми для рассматриваемой технологии. Экспериментально наблюдалось наследование образовавшихся дефектов последующими электрохимически полученными слоями.

Рентгеновское исследование поверхности чип - компонентов с определе-

нием топологии и состава финишного покрытия показало наличие сквозных «проколов» финишных покрытий.

Проведенные металлографические исследования шлифа в зоне «проколов» не оставили никаких сомнений о справедливости «наследственного» роста дефектов.

Таким образом, была установлена одна из причин возникновения брака при серийном производстве изделий электроники, обусловленная наследованием дефектов, возникающих на ранних этапах процесса производства изделий электроники. Необходимо отметить, что устранение выявленных причин являлось важнейшей технологической задачей. Не менее важным для крупносерийного производства являлось и уменьшение значимости потенциальных дефектов на дальнейших этапах сборки изделий электроники.

Для решения этих задач был использован комплексный подход, включавший как технические, так и экспертно-эмпирические методы оптимизации технологии получившие широкое применение в системах управления качеством по стандартам серии ИСО 9000 [6].

Технические рекомендации по совершенствованию многостадийного процесса, включавшего в себя производство чип-элементов, их подготовку и сборку ориентируют на ужесточение технологических норм проведения основных операций формирования слоев чип-элементов [4] и применение активных припойных материалов [5], обеспечивающих смачиваемость спаиваемых контактов при пайке в сложных условиях.

В свою очередь, экспертно-эмпирические методы, примененные в настоящей работе, с построением диаграммы Исикавы и FMEA процесса дали дополнительный инструмент в руки технологов. Традиционно эти методы в основу повышения качества ставят контролирующие мероприятия. Результатом работы организованной при выполнении работы экспертной группы стала рекомендация по обеспечению контроля в производстве чип-элементов с применением современных оптических систем с распознаванием образов. При использовании этого рецепта важной задачей было создание библиотеки образов дефектов.

Таким образом, в результате проведенной работы мы установили одну из причин возникновения потенциально массовых дефектов при сборке электроники и на базе не сложных обсуждений установленной причины дали действенные рекомендации по преодолению ее самой и последствий ее возникновения.

### **Список литературы**

[1] Адарчин С.А., Косушкин В.Г., Адарчина Е.Н. Надежность автомобильных электронных компонентов в условиях воздействия знакопеременных нагрузок. Инженерный журнал: наука и инновации. №7(31) 2014.

[2] Нинг-Ченг Ли. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и FLIP CHIP технологии: –М.: Технологии 2006. - 392 с.

[3] Джюд М., Бриндли К. Пайка при сборке электронных модулей: - М.: Технологии, 2006. – 416 с.

[4] Готра З.Ю. Технология микросистемных устройств: - М.: Радио и связь, 1991. - 528с.

[5] Адарчин С.А., Косушкин В.Г., Адарчина Е.Н. Эффективный метод производства flip-chip компонентов. Инженерный журнал: наука и инновации. №3(27) 2014.

[6] ГОСТ Р 51814.1-2009 <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=174895>

[7] Стандарт MIL-STD 1629A [http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1600-1699/download.php?spec=MIL\\_STD\\_1629A.1556.pdf](http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1600-1699/download.php?spec=MIL_STD_1629A.1556.pdf)

**Бережанский Иван Романович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: berezhanskiy.ivan@mail.ru

**Адарчин Сергей Александрович** – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: adarchin@rambler.ru

**Кулагина Наталья Сергеевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kulagina.natalia2013@yandex.ru

А.А. Маркова, И.А. Прохоров, К.М. Подурец

## РЕНТГЕНОТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МОНОКРИСТАЛЛОВ ДИФОСФИДА ЦИНКА-ГЕРМАНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

**Введение.** Монокристаллы дифосфида цинка-германия  $ZnGeP_2$  (ZGP) с тетрагональной структурой типа халькопирита (класс  $A^2B^4C^5_2$ ) являются одним из наиболее важных нелинейно-оптических материалов ИК диапазона. Они используются, в частности, при создании когерентных источников оптического излучения, перестраиваемых по частоте в широком диапазоне длин волн - 2,5-11 мкм (параметрических генераторов света). Такие источники являются важными составными частями оптических приборов и систем с новыми функциями, имеющими большое прикладное значение [1]. Более широкое использование ZGP в нелинейной оптике в значительной мере зависит от успехов в выращивании монокристаллов ZGP высокого структурного и оптического качества.

На практике получение качественных образцов данного полупроводникового соединения ограничено рядом технологических трудностей, связанных с синтезом и процессом выращивания монокристаллов ZGP [2]. Выращенные монокристаллы содержат разнообразные структурные дефекты, которые оказывают негативное влияние на их оптические свойства. В связи с этим исследование структурного совершенства кристаллов ZGP является важной научной задачей и представляет значительный практический интерес.

В настоящей работе особенности реальной структуры кристаллов ZGP исследованы методами рентгеновской топографии и двухкристальной дифрактометрии.

**Методика эксперимента.** Исследовали кристаллы ZGP, выращенные вертикальным методом Бриджмена в направлении [001] по методике [2] (образцы для исследования предоставлены сотрудником Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН Верозубовой Г.А., г. Томск).

Исследования методами двухкристальной рентгеновской дифрактометрии и топографии на отражение проводили на двухкристальном рентгеновском дифрактометре (рис. 1) в  $CuK_{\alpha 1}$  излучении.

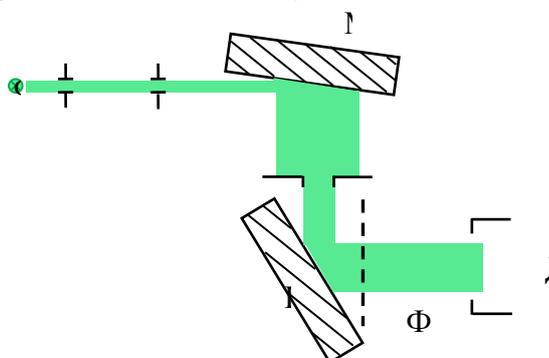


Рис. 1. Рентгенооптическая схема двухкристального топографического дифрактометра: Ф – источник излучения, М – монокроматор, К – исследуемый кристалл, Д – детектор излучения, ФП – фотопластинка

Известно, что эффективность указанных методов существенно возрастает при использовании бездисперсионной ( $n$ ,  $-n$ ) установки кристаллов. Однако кристаллы ZGP по структурному совершенству пока существенно уступают кристаллам Ge и Si и не могут использоваться в качестве монокроматоров. В этой связи в настоящей работе для расширения пучка и формирования почти плоской волны использовали сильно асимметричное отражение 511 от монокроматора из высокосовершенного германия (угол Брэгга  $\theta = 45.07^\circ$ , фактор асимметрии отражения  $b = 0.01$ , расходимость пучка после монокроматора составляет по оценкам  $\sim 0.5''$ ). Исследования пластин ZGP ориентации (100) проводили в отражении 424 (угол Брэгга  $\theta \sim 43.86^\circ$ ), хорошо согласующемся с брэгговским углом монокроматора. Угол между плоскостями (100) и (212) составляет  $\varphi = 35.54^\circ$ , угол падения излучения на образец  $\omega = \theta - \varphi = 8.32^\circ$ .

Топографические исследования в геометрии Лауэ (на просвет) с выявлением особенностей распределения дефектов в объеме кристаллов проводили в белом пучке синхротронного излучения станции «МЕДИАНА» Курчатовского источника синхротронного излучения (СИ).

**Результаты и их обсуждение.** Исследовали образец LS2-B (рис. 2), вырезанный по плоскости (100) вдоль оси роста кристалла (есть симметричное отражение 400 (угол Брэгга  $\theta \sim 34.3^\circ$ ), разориентация пластины составляет  $\sim 30'$ ).



Рис. 2. Фотографии образца LS2-B в обычном и поляризованном свете. Видны полосы роста, обусловленные неоднородным распределением состава кристалла

Кривая качания 424, полученная с использованием узкой щели 0.1 мм, состояла из двух пиков, принадлежащих различным слегка разориентированным участкам кристалла. Полуширина каждого пика составляет  $\Delta\omega_{1/2} \sim 16''$  и характеризует истинное значение полуширины для данного образца для используемой схемы эксперимента.

Двухкристальная рентгеновская топография в отражении 424 выявила дефекты структуры в приповерхностном слое кристалла толщиной в несколько десятков микрон. Кривая качания в топографическом режиме (рис. 3а) при полном омывании образца пучком уширена (полуширина составляет  $\Delta\omega_{1/2} \sim 39''$ ) из-за неоднородности образца. При съемке с расположением рабочей точки в максимуме кривой качания на топограмме (рис. 3б) выявляются полосы роста, дислокации и включения второй фазы. Видны фрагменты разориентированной части кристалла.

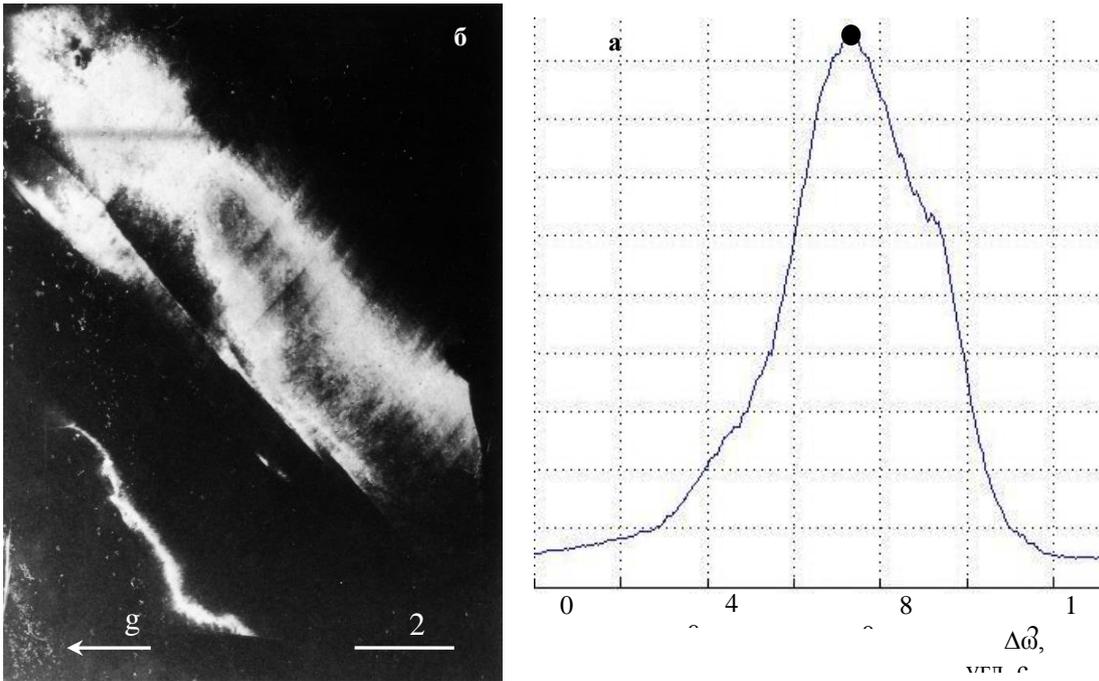


Рис. 3. Кривая качания (а) и двухкристальная топограмма (б) пластины ZGP ориентации (100).  $\text{CuK}_{\alpha 1}$  излучение, отражение 424. Топографический режим (полное омывание образца пучком). Полуширина кривой качания  $\Delta\omega_{1/2} \sim 39''$ . Точкой отмечено угловое положение образца во время экспозиции. Показана проекция вектора дифракции  $\mathbf{g}$  на плоскость топограммы

Сопоставление двухкристальной топограммы, выявляющей дефекты в приповерхностной области кристалла, (рис. 3 б) и синхротронных топограмм, полученных в белом пучке СИ, характеризующих распределение дефектов в объеме кристалла (рис. 4), позволяет получить более полную информацию об особенностях деформации и дефектах в исследуемом образце.

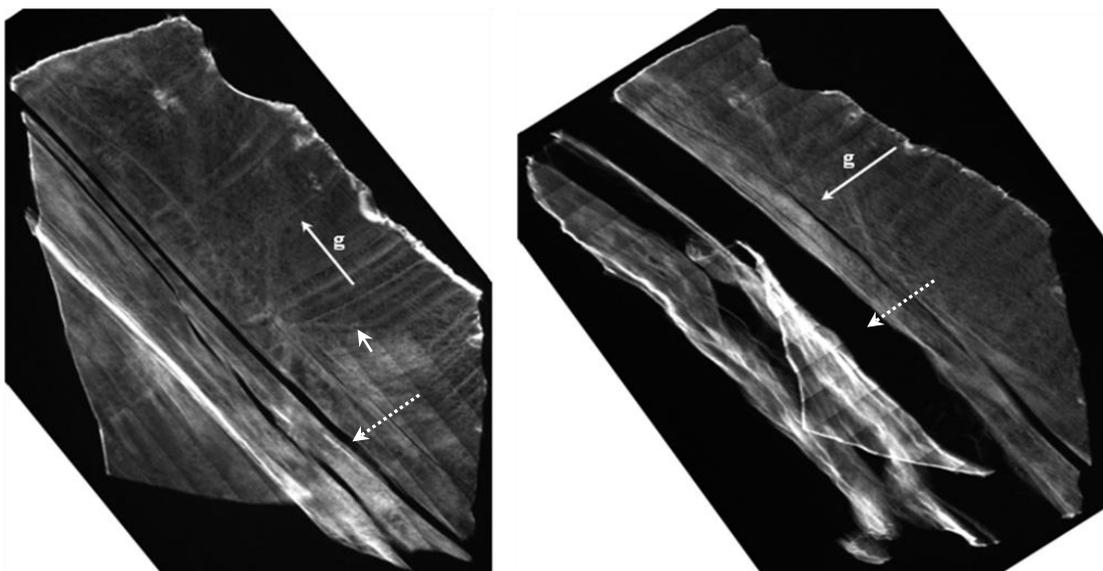


Рис. 4. Синхротронные топограммы образца ZGP LS2-B с различным направлением вектора дифракции  $\mathbf{g}$  относительно полос роста

На синхротронных топограммах выявляются полосы роста, дислокации и включения второй фазы.

Полосы роста представляют собой квазипериодическое изменение состава кристалла на микроуровне и повторяют форму фронта кристаллизации, так как их образование обусловлено изменениями скорости роста и состава расплава вблизи фронта кристаллизации. Поэтому, наблюдаемое на топограмме локальное изменение формы полос (показано маленькой стрелкой), свидетельствует об изменении режима роста, что негативно сказывается на качестве кристалла. Кроме того, видна существенная зависимость контраста изображения полос роста от направления вектора дифракции. При расположении вектора дифракции параллельно полосам роста (Рис. 4б) полосы роста не выявляются из-за особенностей деформации кристаллической решетки в таких слоисто-неоднородных кристаллах [3, 4]. Видны только “технологические” полосы, обусловленные послойным получением топограмм в данном эксперименте. Поэтому, для получения достоверной информации о микрооднородности кристаллов необходимо проводить топографические эксперименты с использованием различных векторов дифракции.

Черные области между изображениями на топограммах (показаны пунктирными стрелками) обусловлены взаимной разориентацией соответствующих участков кристалла. Их ширина зависит от направления вектора дифракции  $\mathbf{g}$  относительно оси разориентации и определяется величиной разворота областей кристалла, которая по данным прямых дифрактометрических измерений составляет  $\sim 35$  угл. с. Формирование такого ориентационного контраста на границах между разориентированными областями кристалла часто наблюдается в топографических экспериментах с использованием белого синхротронного излучения. Изображения могут перекрываться или расходиться (как в нашем случае) в зависимости от знака разориентации относительно дифракционного вектора [5].

В целом, полученные результаты свидетельствуют о весьма низком структурном совершенстве исследованного кристалла.

**Выводы.** Реальная структура кристалла ZGP исследована методами двухкристалльной рентгеновской дифрактометрии и топографии. Выявлены основные дефекты структуры: дислокации, полосы роста, включения второй фазы. Показана существенная зависимость контраста изображения дефектов от направления вектора дифракции. Использование взаимно дополняющих методов исследования позволяет получать наиболее полную информацию о реальной структуре кристаллов и может быть полезно для оптимизации технологии роста кристаллов ZGP.

### Список литературы

[1] Справочник по лазерам. // Под ред. А.М. Прохорова. Т.2. М.: Сов. Радио, 1978. 400 с.

[2] Verozubova G.A., Okunev A.O., Gribenyukov A.I., Trofimiv A.Yu., Trukhanov E.M., Kolesnikov A.V. Growth and defect structure of ZnGeP<sub>2</sub> crystals. // Journal of Crystal Growth. 2010. V. 312. P. 1122-1126.

[3] Прохоров И.А., Безбах И.Ж., Захаров Б.Г., Шульпина И.Л. Рентгенотопографические исследования микросегрегации в кристаллах. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2007. №5. с. 42-46

[4] Prokhorov I.A., Serebryakov Yu.A., Zakharov B.G., Bezbakh I. Zh, Ratnikov V.V., Shulpina I.L. Growth striations and dislocations in highly doped semiconductor single crystals. // Journal of Crystal Growth. 2008. V. 310 (24). P. 5477-5482.

[5] Боуэн Д.К., Таннер Б.К. Высокора разрешающая рентгеновская дифрактометрия и топография. / Перевод с англ. И.Л Шульпиной и Т.А. Аргуновой. Санкт Петербург: Наука, 2002. 274 с.

**Маркова Анастасия Алексеевна** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mordast96@gmail.com

**Прохоров Игорь Алексеевич** – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: igor.prokhorov@mail.ru

**Подурец Константин Михайлович** – д-р физ.-мат. наук, главный научный сотрудник, Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”. E-mail: podurets@yandex.ru

М.А. Александров, С.А. Адарчин

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРИПОЙНЫЕ ПАСТЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Современные припойные пасты очень широко используются в наше время, а их физические свойства оказывают довольно значительное влияние на технические характеристики паяных соединений. Поэтому должны соответствовать определенным требованиям.

Требования к паяльным пастам:

- Не должны окисляться, сильно и быстро расслаиваться;
- Желательно долго сохранять свои реологические свойства;
- Не должны оставлять твердых неудаляемых остатков после пайки;
- Должны обладать клеящими свойствами;
- Не должны разбрызгиваться при воздействии достаточно концентрированного источника нагрева;
- Не должны ухудшать технических характеристик платы;
- Должны отмываться в стандартных растворителях. [1]

В то же время, она должна иметь относительно низкую вязкость для обеспечения технологичности, при нанесении ее через трафарет. Основное достоинство современных припойных паст – это легкость механизации работ. Пасту наносят специальными дозаторами или трафаретным способом. Пасту можно нанести ровным, точно заданным слоем с помощью механизированных и автоматизированных средств, что обеспечивает значительную экономию припоя (примерно 30 - 50 %). [2]

В состав припойных паст входят материал припоя, флюс, связующее вещество, органический растворитель и различные специальные добавки, придающие пасте требуемые свойства, например, вязкость. Основной составляющей частью припойной пасты является порошок припоя, получаемый путем пульверизации расплава припоя через специальные сопла.

Характеристики паяльных паст:

**Состав припоя.** Все пасты содержат традиционные для электроники оловянные припои. Помимо традиционных свинцовых припоев все чаще встречаются бессвинцовые. Также существуют разные легирующие добавки, улучшающие качество пайки, например, серебро.

**Размер частиц припоя.** Размер частиц припоя оказывает сильное влияние на свойства пасты. Присутствие крупных частиц существенно ухудшает реологические свойства, а большое количество мелких частиц ухудшает текучесть пасты. Наиболее используемый размер частиц припоя соответствует типу 3 по классификации IPS (25 - 45 мкм). Некоторые высокоточные дозаторы требуют применения мелкодисперсных паст.

**Вязкость.** Вязкость паст, предназначенных для дозирования, должна быть в диапазоне  $300 - 450 \times 10^3$  сПз. Вязкость паст, предназначенных для нанесения через трафарет, должна быть в диапазоне  $650 - 1200 \times 10^3$  сПз.

**Форма частиц.** Форма частиц определяет во многом способность пасты дозироваться тем или иным способом. Если частицы имеют неправильную форму - продолговатую или в виде чешуек, то такая паста начинает забивать мелкие отверстия сетки трафарета или шприца дозатора. Для таких паст единственно возможным вариантом остается дозирование через металлическую маску - трафарет. Частицы припоя сферической формы придают пасте способность к легкому продавливанию через узкие отверстия сетки или дозатора.

**Паяемость.** Паяемость паяльной пасты зависит от окисленности и загрязненности поверхности частиц порошка припоя. Важно количество кислорода в тонком приповерхностном слое, реагирующем в самом начале процесса с флюсом и основным металлом. По международным стандартам содержание его не должно быть более 0,5%. Отрицательное влияние оказывает также углерод, который попадает на поверхность частиц порошка из тары и упаковки в процессе хранения и транспортировки. Поэтому на всех этапах, начиная от изготовления порошка и заканчивая пайкой, необходимо принимать все меры против взаимодействия порошка с кислородом и углеродом. [1]

Что касается применения паст в современном производстве и их внедрения в процесс пайки, рассмотрим испытания паст марок F10 свинцово-содержащего типа и F640 - бессвинцовой.

Оборудование для проведения испытаний:

- принтер **Dec**;
- 2 машины для монтажа чип-элементов «Samsung»;
- 6-ти ступенчатая конвекционная печь;
- Установка рентгеновской инспекции;

Особенности изделия:

- Двухсторонняя печатная плата с финишным покрытием Sn-Pb;
- Наличие внутренних экранирующих слоев;
- На плате имеются элементы разного размера (типа 0603 и катушки индуктивности) см. рис.1 и рис.2.

Фотография печатной платы приведена на рисунках 1 и 2

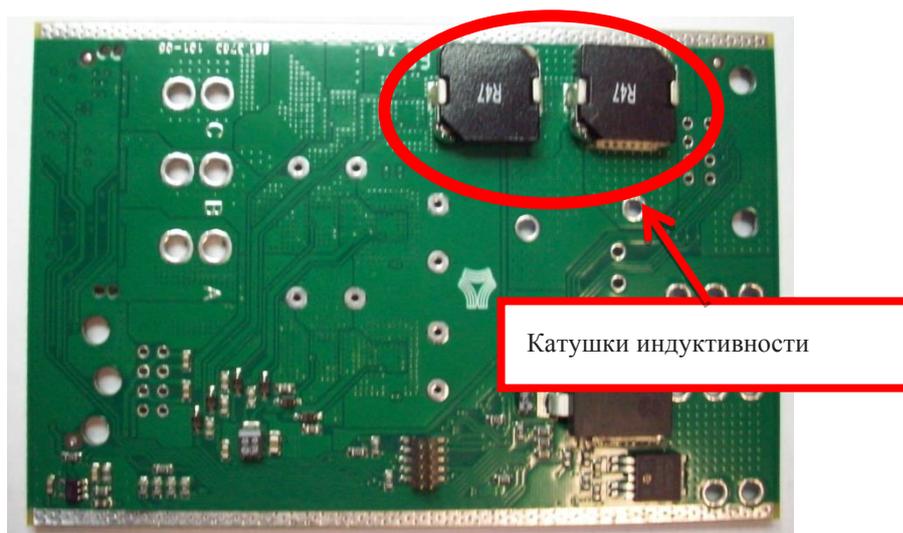


Рис.1. Сторона 1 (BOT TOM)

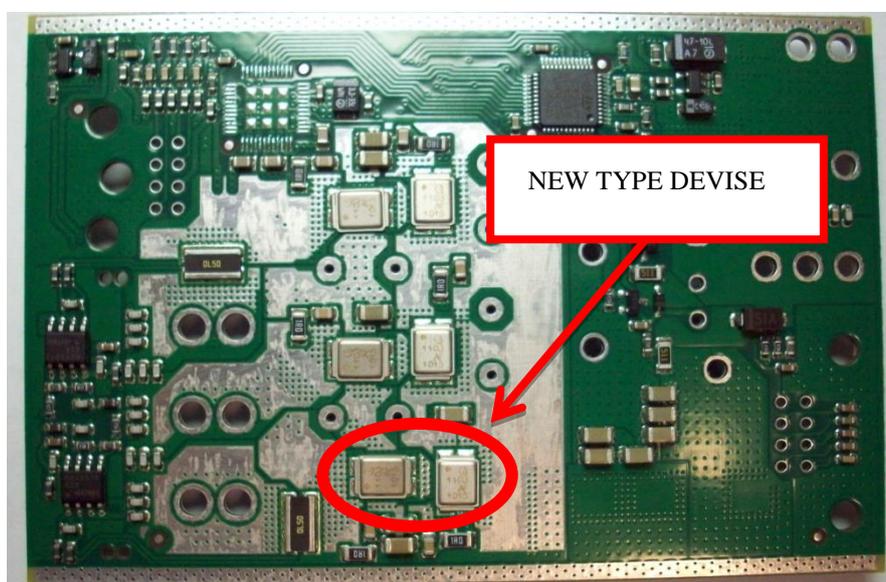


Рис.2. Сторона 2 (TOP)

Испытания проводились в два этапа. На первом этапе печатная плата была собрана с применением F10 и F640 для пайки TOP и BOT TOM. Было установлено, что при сборке в первую очередь стороны TOP на элементах «NEW TYPE» наблюдаются пустоты (Рис.3). При сборке в первую очередь стороны BOT TOM наблюдалось падение катушек индуктивности. Однако при этом пустот на элементах «New Type» не наблюдалось! Схожая ситуация наблюдалась и при использовании пасты F640.

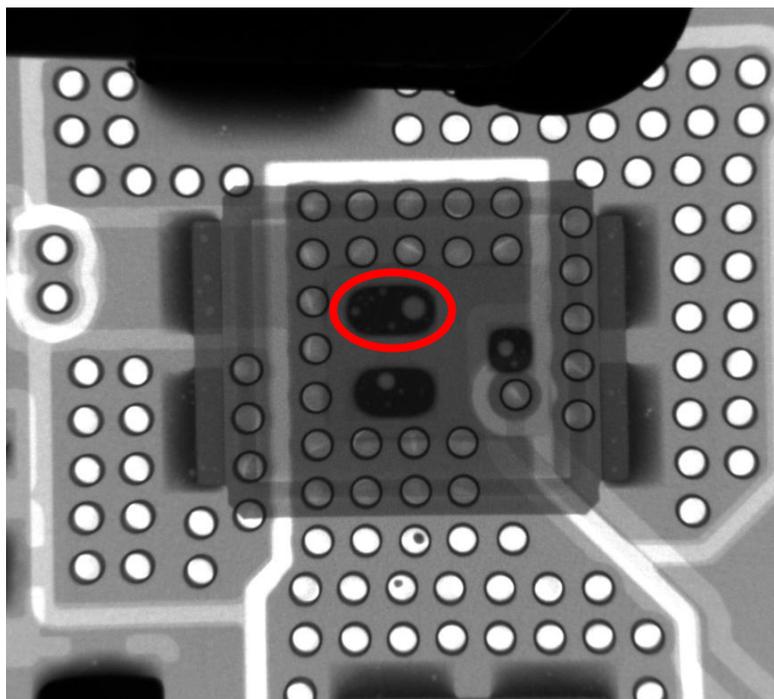


Рис. 3. Рентгеновская фотография NEW TYPE DEVICE

Причин возникновения пустот при такой технологии не было установлено. Было опробовано несколько вариантов температурных профилей.

- С увеличенным предварительным прогревом;
- С увеличенной выдержкой в зоне ликвидуса;
- С уменьшением и увеличением температурного градиента.

Лучший результат приведен на рисунке 4.

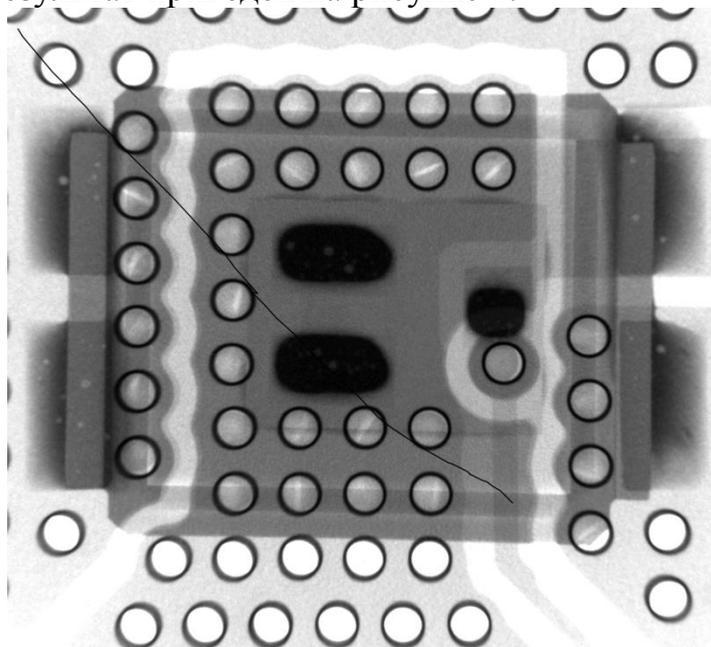


Рис. 4. Рентгеновская фотография NEW TYPE DEVICE

В связи с тем, что устранить пустоты путем оптимизации температурного профиля не удалось было принято решение об изменении последовательности технологических операций.

- На первом этапе осуществляется монтаж стороны ВОТТОМ с применением F640 SAC3;
- На втором этапе осуществляется монтаж стороны ТОР с применением F10 Sn62.

Подводя итог работы, можно сделать следующие выводы:

- При комбинированном использовании материалов с разной температурой плавления, удалось получить хороший результат при сборке сложной печатной платы;
- Предложенный вариант технологии позволяет исключить операцию приклеивания тяжелых элементов.

В результате такой оптимизации было получено значительное снижение количества пор в контактах элементов «New Type».

### **Список литературы**

- [1] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Паяльная\\_паста](https://ru.wikipedia.org/wiki/Паяльная_паста).
- [2] *В. Кузьмин* Материалы для пайки электронных узлов при производстве современных РЭА // Электронные компоненты. – 2001. - № 6.

**Александров Максим Александрович** – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Kenwowj@gmail.com

**Адарчин Сергей Александрович** – канд. техн. наук, доцент кафедры "Материаловедение" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: adarchin@rambler.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 6.

<b>ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ</b> .....	3
<i>Белоусова К.С., Жукова Ю.М., Щербакова Я.В.</i> Анализ влияния лазерного излучения на сточные воды гальванического производства.....	4
<i>Олейник А.В., Никулина С.Н.</i> Анализ проблемы загрязнения космическим мусором .....	7
<i>Федулов И.Е., Никулина С.Н.</i> Влияние свч-излучения на природные воды .....	11
<i>Шахматова Н.А., Никулина С.Н.</i> Влияние техногенного загрязнения на примере родника города Калуги .....	14
<i>Крылова Л.А., Яковлева О.В.</i> Использование информационных технологий для оптимизации производственно-экологического контроля на ГП «Калугаоблводоканал» .....	17
<i>Бакутина Н.Н., Кузнецова О.В., Яковлева О.В.</i> Исследование качественного состава ливневых сточных вод г.Калуги ...	22
<i>Сащенко И.И.</i> Количественная оценка содержания органики в сточных водах для МТЭЛ.....	26
<i>Олейник А.В., Никулина С.Н.</i> Некоторые аспекты образования отходов от взрывов на орбите.....	28
<i>Олейник А.В., Непогодина Я.В., Силаева Н.А., Логинова А.Ю.</i> Нормирование содержания азотсодержащих веществ в сточных и поверхностных водах на территории г. Калуги.....	31
<i>Карева Е.О., Морозенко М.И.</i> Обоснование выбора генератора плазмы в системе плазменной газификации ТКО.....	36
<i>Маркелова Н.П., Черняев С.И.</i> Определение влияния геометрии укладки фильтровального материала на сопротивление компактного фильтра .....	41
<i>Попова Е.В., Морозенко М.И.</i> Определение параметров реактора плазменной газификации для переработки твердых коммунальных отходов .....	45
<i>Зубков Д.В., Гордеев А.С.</i> Получение нанесенных палладиевых катализаторов гидрокарбонильным методом .....	50

<i>Христофорова М.И., Хролынцев А.А., Яковлева О.В.</i> Проведение сравнительных испытаний на грязеемкость фильтрующих элементов .....	53
<i>Короткова В.Е., Черняев С.И.</i> Разработка принципиальной схемы стенда для контроля высокоэффективных фильтров .....	57
<i>Никулина С.Н., Челенко А.В., Падалка О.А.</i> Роль субъектов среднего предпринимательства в обеспечении экологической безопасности региона .....	60
<i>Дудорова Н.О., Бычков Н.А.</i> Современные методы безреагентной обработки воды с целью снижения ее жесткости .....	66
<i>Шуберт В.В.</i> Экологический аспект использования различных источников освещения для выращивания плодоовощных и стеллажных культур на закрытом грунте .....	69
<i>Егорова А.Г., Жукова Ю.М.</i> Электромагнитные методы обработки воды .....	72
<b>СЕКЦИЯ 7.</b> <b>СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАЗЕМНЫХ</b> <b>ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ</b> <b>И КОМПЛЕКСАХ</b> .....	75
<i>Карпухин С.А., Плахов С.А.</i> Гибридные тормозные механизмы .....	76
<i>Подлесных С.В.</i> К вопросу об установке гибридной силовой установки на автомобиль Lada Priora .....	79
<i>Паршукова А.А.</i> К вопросу об установке равнодлинных приводов на переднеприводный автомобиль Лада Калина .....	82
<i>Селькин С.А.</i> К вопросу об установке электромагнитной подвески на автомобиль Volkswagen Golf 7.....	84
<i>Крылов М.В.</i> Моделирование разгона автомобиля с автоматически подключаемым полным приводом .....	89
<i>Мишин Е.А.</i> Модернизация автомобиля Шевроле Нива для коммунального хозяйства.....	94

<i>Попков В.В.</i> Особенности оценки ходовых характеристик транспортных средств.....	99
<i>Кузьмин Д.С., Козинцев Н.П.</i> Полноприводный автомобиль Газель Некст .....	102
<i>Томилин Ю.С.</i> Применение разбрасывателя минеральных удобрений и шин низкого давления на автомобиле Уаз-452.....	105
<i>Селькин С.А.</i> Применение триботехнических составов «Супротек» в двигателях внутреннего сгорания .....	109
<i>Семизоров А.В.</i> Применение электрического турбо-нагнетателя в двигателе внутреннего сгорания.....	111
<i>Родионов Н.А.</i> Прогрессивные типы подвесок современного автомобиля .....	114
<i>Стрункин Д.В., Плахов С.А.</i> Проектирование автоматической системы регулирования давления поджимного механизма рулевой рейки.....	118
<i>Королев Д.О., Алакин В.М.</i> Разработка несущего кузова легкового автомобиля комбинированной конструкции с постоянным полным приводом.....	121
<i>Андронов А.Ю., Садковский Б.П.</i> Технология замедления снижения емкости источников электроэнергии .....	124
<i>Стрункин Д.В.</i> Усовершенствование электромеханической подвески .....	128
<b>СЕКЦИЯ 9.</b> <b>ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ, ГИДРОПНЕВМАТИКА.....</b>	<b>131</b>
<i>Васильчук Н.Ю., Чубаров Ф.Л.</i> Исследование конструкции и разработка стенда для испытания быстрозапорного клапана -захлопки.....	132
<i>Маклачков А.Н., Родтонов Н.Г.</i> Исследование причин аварии газодожимной компрессорной установки.....	135
<i>Ильдияров Е.Н., Сизов А.Н.</i> Исследование устойчивости и качества работы электрогидравлического контура регулирования частоты вращения .....	138

<i>Пащенко В.В., Шитохина О.Г., Зиновьева О.И.</i> Моделирование трехмерного течения во вращающейся каверне .....	144
<i>Ломакин Д.А., Коротков В.В.</i> Обзор конструкции установок погружных центробежных насосов (УЭЦН) для добычи нефти .....	148
<i>Чубаров Ф.Л., Каньшин К.С.</i> Перспективы развития пропорциональной гидравлики .....	152
<i>Зубов А.А., Мисягина Ю.Ю., Анкудинов А.А.</i> Перспективы улучшения эксплуатационных качеств осевых насосов .....	155
<i>Регеда А.В., Чубаров Ф.Л.</i> Пневматическая система пылевлагозащитного чехла телескопа Т- 170М.....	159
<i>Вальяников В.Д., Чубаров Ф.Л.</i> Применение микроконтроллера для оптимизации процесса управления промышленным роботом МП-9С.....	161
<i>Мисягина Ю.Ю., Зубов А.А., Катенина Е.С., Анкудинов А.А.</i> Способы снижения кавитационной эрозии в предвключенных ступенях центробежных насосов.....	164
<i>Липин Е.С., Панаиотти С.С.</i> Химические консольные центробежные насосы .....	168
<b>СЕКЦИЯ 10.</b> <b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....	173
<i>Зеар Аунг</i> Разработка прототипа консультирующей экспертных систем.....	174
<i>Дадукин А.О., Пчелинцева Н.И.</i> Реактивное программирование RX на примере JAVARX .....	178
<i>Гусейнов Д.Н., Артемов А.В., Пчелинцева Н.И.</i> Решение транспортной задачи с помощью теории графов.....	183
<b>СЕКЦИЯ 11.</b> <b>ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ</b> <b>ЭЛЕКТРОНИКИ</b> .....	188
<i>Лазарев Н.С.</i> Анализ защитного устройства для входного модуля радиолокационного приемника .....	189
<i>Аунг Чжо Чжо, Зайончковский В.С., Колган А.Я., Быков П.А.</i> Исследование адгезии пленок системы V-Si к окисленному кремнию ...	194
<i>Бережанский И.Р., Адарчин С.А., Кулагина Н.С.</i> Повышение надежности финишных покрытий выводов чип - элементов .....	197

<i>Маркова А.А., Прохоров И.А., Подурец К.М.</i>	
Рентгенотопографические исследования реальной структуры монокристаллов дифосфида цинка-германия .....	201
<i>Александров М.А., Адарчин С.А.</i>	
Современные припойные пасты .....	206
<b>СОДЕРЖАНИЕ</b> .....	211

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

**Материалы  
Региональной научно-технической конференции**

**Том 2**

*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 20.04.2017.  
Формат 60x90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Печ. л. 13,5. Усл. п. л. 12,56. Заказ № 69

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Оригинал-макет подготовлен и отпечатан в Редакционно-издательском отделе  
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана  
248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2, тел. 57-31-87