

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; А. П. Коржавый; А. И. Пономарев; А. К. Рамазанов;
А. А. Анкудинов; Ю.С. Белов; В. Г. Косушкин; А. В. Мазин; А. А. Шубин;
А. К. Горбунов; Н. Е. Шубин; А. В. Максимов; В. Н. Пащенко;
М. В. Астахов; Е. Н. Сломинская; О. Л. Перерва; В. В. Ильин; В. М. Алакин

Н34 **Научоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе:** материалы региональной научно-технической конференции, 17 – 19 апреля 2018 г. Т. 2. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 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, 2018
© Калужский филиал МГТУ
им. Н. Э. Баумана
© Издательство МГТУ
им. Н. Э. Баумана, 2018

СЕКЦИЯ 6.

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Я.В. Непогодина, Ю.М. Жукова, В.М. Алакин

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ СТЕКЛОПЛАСТИКА

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

Стеклопластик – это вид композитного материала, состоящего из наполнителя в виде стекловолокна и матрицы, связующего материала, из синтетических смол.

Композитные материалы на основе стекловолокна широко используют в строительстве, оборонной, энергетической, транспортной и химической промышленности. Являются одними из наиболее применяемых композитов, что обусловлено их свойствами и относительно невысокой стоимостью.

Для производства стеклопластиков используются стеклянные волокна различного типа. Основу стекол составляет SiO_2 . Температура плавления диоксида кремния очень высока, для ее снижения в стекло могут быть введены различные добавки, изменяющие при этом свойства конечного продукта. Свойства стекол определяются их химическим составом. Типичными (коммерческими) марками стекла считаются марки А, С, Е, S. Наиболее распространены высокощелочные (натриевые, бутылочные) стекла. Наличие большого содержания щелочи определяет их невысокие электрические свойства. Для устранения этого недостатка были разработаны низкощелочные стекла, имеющие хорошие электроизоляционные свойства [1].

Широкую распространенность стеклянных волокон предопределяет их спектр достоинств: высокий уровень прочности в условиях действия растягивающих напряжений, хорошие электроизоляционные свойства, волокна не горят и не поддерживают горение, возможность эксплуатации при повышенных температурах, низкий коэффициент линейного температурного расширения и высокий коэффициент теплопроводности, химическая стойкость, устойчивость к действию грибов, бактерий и насекомых, повышенная влагостойкость, сохранение высоких прочностных свойств в средах с повышенной влажностью.

Стеклянные волокна используются в виде как непрерывных нитей, так и резаного (штапельного) волокна.

Технологический процесс получения волокна заключается в подготовке кварцевого песка, известняка, борной кислоты, глины, угля, флюорита и других компонентов, их перемешивании и плавлении в высокотемпературных печах (температура плавления примерно $1260\text{ }^\circ\text{C}$) [2].

Отходы стеклопластиков можно разделить на термореактивные и термопластичные полимерные композиты.

Термореактивные полимерные композиты обладают гибкостью, прочностью и коррозионной стойкостью при малом весе. Используются обычно

в качестве строительных материалов, в горных и дорожных работах. С увеличением спроса на полимерные композиты наблюдается резкий рост отходов производства и переработки. Однако термореактивные композиты, в отличие от термопластичных, нельзя переформовать путём нагревания, что затрудняет утилизацию.

Для построенных из макромолекул полимерных тел известен как кристаллический, так и аморфный тип организации. Полностью кристаллические полимерные тела встречаются крайне редко и это связано в первую очередь с кинетическими трудностями при построении высокой степени упорядоченности макромолекул. Для полимерных кристаллов характерна высокая степень дефектности.

Молекулярные цепи термопластов имеют беспорядочную (аморфную) или частично кристаллизованную структуру (Рис. 1). В аморфную группу входит, например, поливинилхлорид (PVC), а частично кристаллизованными термопластами являются полипропилен (PP) и полиэтилен (PE). Молекулярная структура частично кристаллизованных термопластов имеет в своем составе аморфные и упорядоченные участки - кристаллиты.



Рис. 1. Структура аморфного полимера (Модель Вайнштейна)

Термореактивные материалы за счет сшитой трехмерной структуры, как правило, обладают более высокими показателями твердости, хрупкости и упругости, более низким коэффициентом теплового расширения, чем термопластичные материалы, имеют стойкость к органическим растворителям и слабым кислотным и щелочным средам. В отличие от термопластов, чаще всего, могут эксплуатироваться при более высоких температурах. Основным признаком структурной организации кристаллических полимеров являются пластинчатые монокристаллы – ламели, в которых макромолекулы укладываются перпендикулярно широкой плоскости кристаллов. Длина кристаллизующейся макромолекулы намного превышает толщину ламели и, чтобы уложиться в кристалл, макромолекула должна многократно сложиться (Рис. 2).

Выделяют семь основных типов элементарной ячейки, различающихся соотношением между длинами векторов и углами: кубическая, тетрагональная, гексагональная, ромбическая (орторомбическая), ромбоэдрическая (тригональная), моноклинная и триклинная. Для полимеров известны все типы кристаллической решетки, кроме кубической.

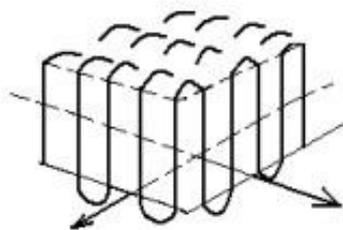


Рис. 2. Складывание макромолекул в ламелях

Есть три основных типа используемых смол в составе стеклопластика: эпоксидная смола, ненасыщенный полиэфир и фенольная смола.

К связующим и матрицам предъявляется широкий спектр требований как в процессе изготовления, так и при эксплуатации (Таблица 1).

Таблица 1

Характеристики смол, используемых в составе стеклопластика

Название	Описание	Особенности
Эпоксидные смолы	Мономерные, олигомерные или полимерные растворимые соединения, в состав молекул которых входит не менее двух эпоксидных или глицидиловых групп.	Неотвержденные смолы являются термопластичными вязкими жидкостями или хрупкими твердыми веществами. Смолы растворимы в кетонах, эфирах, ароматических углеводородах; обладают высокой стойкостью к действию щелочей, солей, окислителей, органических растворителей. Полимерные композиционные материалы, изготовленные на основе эпоксидных смол, обладают высокими механическими свойствами.
Ненасыщенные полиэфирные смолы	Гетероцепные термореактивные олигомеры и полимеры, содержащие сложноэфирные группы и кратные углерод-углеродные связи. 60-75 % растворы ненасыщенных полиэфиров в мономере (например, стирол) называют ненасыщенными полиэфирными смолами.	Поскольку мономеры способны вступать в реакцию с растворенными в них полиэфирными, их называют активными растворителями. При сополимеризации полиэфиров с активными растворителями образуются неплавкие и нерастворимые соединения пространственной структуры.
Фенолоформальдегидные смолы	Это продукты взаимодействия фенолов и альдегидов, чаще всего фенола и формальдегида. Различают два вида – резольные (термореактивные) и новолачные (термопластичные) смолы.	Продукты отверждения смол – резиты – хрупкие материалы с некристаллической структурой, обладающие высокими прочностными, электроизоляционными, антикоррозионными свойствами. Резиты устойчивы к действию большинства кислот. Температура деструкции фенолформальдегидных смол выше 300 °С.

Существует множество различных методов утилизации отработанного стеклопластика, однако конкретный тип переработки зависит от вида и характеристик отходов. Можно выделить четыре основных метода: химический, физический, сжигание и комплексная переработка, объединяющая в себе первые три метода [3].

Химический метод позволяет превратить отходы стеклопластика в жидкое топливо и твёрдые побочные продукты. Таким способом можно переработать любой вид стеклопластика, но для него требуется дорогое и технологичное оборудование.

Пиролиз – один из видов химической переработки. Он позволяет преобразовать стеклопластик в пиролизный газ, пиролизные масла и твёрдый продукт в анаэробной среде. Получаемые продукты варьируются в зависимости от установленной температуры переработки. К примеру, при 400-500 °С в основном получают пиролизные масла, а при 600-700 °С продуктом является по большей части пиролизный газ. Когда температура в установке после начала процесса достигнет 480-980 °С, у пиролизного газа будет достаточно энергии для самостоятельной поддержки пиролиза. Отдельные составляющие газа возможно отделить и использовать в дальнейшем в качестве топлива.

Основным преимуществом пиролиза является возможность обработки стекловолокна, смешанного с краской, клеем и другими нежелательными субстанциями. Новые технологии, использующие пар в качестве источника тепла для установки, позволяют равномерно нагревать перерабатываемые материалы, что делает этот метод ещё эффективнее [4].

При физической утилизации отработанный стеклопластик измельчается до однородности при помощи установок грубого дробления, после чего используется в качестве сырья. При добавлении измельчённого стеклопластика в различные материалы можно наблюдать повышение их механических свойств, однако для более точного выявления оказываемых эффектов следует провести серию экспериментов. Это простая и недорогая технология, широко применяется при переработке не загрязнённых стеклопластиков. Стеклопластик, измельчённый в порошок, можно использовать в качестве функционального наполнителя.

Из-за высокой прочности и гибкости стекловолокно тяжело поддаётся дроблению. Требуются относительно высокие затраты энергии, так как стеклопластик представляет собой сшитую структуру из смолы и стекловолокна. Стандартные дробильные установки не могут полностью измельчить стеклопластик без дополнительной обработки.

Сжигание, один из самых простых методов, осуществляется при использовании отходов в качестве топлива. Известно, что стеклопластик имеет высокую теплотворную способность, что позволяет использовать его в качестве энергетического ресурса. В процессе горения в воздух выбрасывается большое количество токсичных газов и дыма. Чтобы избежать подоб-

ной проблемы, нужен специализированный мусоросжигатель высокой производительности. К тому же после сжигания стеклопластика остаётся зола, которая может вызвать вторичное загрязнение окружающей среды [5].

Разложение стеклопластика методом пиролиза имеет важное значение для промышленности, однако его применение ограничено из-за высоких затрат на оборудование. Этот метод имеет яркую перспективу в виду своей экологичности, учитывая постоянно растущие проблемы загрязнения окружающей среды. Совместное использование физических и химических методов переработки тоже жизнеспособное решение проблемы утилизации.

Список литературы

[1] *Feng Y., Zhao F., Xu H.* Recycling and Utilization of Waste Glass Fiber Reinforced Plastics. - MATEC Web of Conferences. – 2016. – 5 с.

[2] *Галыгин В. Е., Баронин Г. С., Таров В. П., Завражин Д. О.* Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ». - 2014. – 180 с.

[3] *Asmatulu E., Twomey J., Overcash M.* Recycling of fiber-reinforced composites and direct structural composite recycling concept. - Journal of Composite Materials Vol. 48(5), - 2014. - 593–608 с.

[4] *Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г.* Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, - 2013. – 118 с.

[5] *Планковский С. И., Гарин В. О., Цегельник Е. В.* Современные методы утилизации полимерных композиционных материалов. - Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии № 51. – 2013. – 186-193 с.

Непогодина Яна Вячеславовна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dragonflynepogodina@gmail.com

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

Алакин Виктор Михайлович – канд. техн. наук, зам. директора по инновациям КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: aser.work@yandex.ru

В.Е. Короткова, О.В. Яковлева

АНАЛИЗ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

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

В настоящее время в связи с развитием электроники в большинстве производств проводится монтаж электронных изделий, в том числе печатных плат. Процессы пайки сопровождаются выделением вредных веществ, таких как формальдегид, этанол, канифоль, окислы свинца, олова и других. Данные загрязнения присутствуют в различных формах – в виде паров, аэрозолей и газообразных выделений. Существующие методы очистки воздуха от этих веществ способны обеспечить комплексную очистку воздуха всех вышеперечисленных форм загрязнений. Для очистки от аэрозольных фракций используются высокоэффективные фильтры. Пары растворителей и другие летучие органические соединения могут быть удалены из воздуха химическими способами. Газообразные загрязнители, такие как формальдегид, удаляются методами абсорбции, адсорбции, каталитическими методами. Наиболее распространённым методом очистки паров и газообразных загрязнителей при пайке является адсорбционный метод.

Целью работы являлось исследование существующих сорбентов для очистки воздуха от жидких и газообразных фракций загрязнений при пайке.

Задачи исследования:

- рассмотреть существующие виды сорбентов;
- определить наиболее перспективный вид сорбента для очистки воздуха при пайке.

При проведении исследования образующихся в процессе пайки дыма и газов, было установлено, что загрязняющие вещества находятся в различных состояниях: этанол – в форме пара, формальдегид имеет газообразную форму, остальные вещества – аэрозольную. Для очистки от данных загрязнений возникает необходимость предусматривать двухступенчатую очистку воздуха, состоящую из сорбционного и аэрозольного фильтров.

Конечной стадией очистки является адсорбционный фильтр, задерживающий все парообразные и газообразные загрязнители, такие как формальдегид, спирты, канифоль и др. Для эффективной работы такого фильтра необходимо правильно выбрать сорбент.

Сорбция – поглощение твёрдым телом различных веществ из окружающей среды и концентрирование сорбата на поверхности раздела фаз или его поглощение поверхностным слоем сорбента. Различают два типа адсорбции – физическую адсорбцию, при которой повышение концентрации сорбата на поверхности раздела фаз обусловлено неспецифическими (то есть не зависящие от природы вещества) силами Ван-дер-Ваальса и химическую адсорбцию (хемосорбцию), обусловленную протеканием химических реакций сорбата с веществом поверхности сорбента.

Исследование показало, что наибольшее практическое значение имеет адсорбция поверхностно-активных веществ и адсорбция примесей из газа либо жидкости специальными высокоэффективными адсорбентами. В качестве адсорбентов могут выступать разнообразные материалы, имеющие синтетическое или природное происхождение, с высокой удельной поверхностью. Это пористый углерод (наиболее распространённая форма – активированный уголь), силикагели, цеолиты, а также некоторые другие группы природных минералов и синтетических веществ [1].

Технико-экономические показатели процесса адсорбционной очистки во многом зависят от свойств адсорбентов.

Адсорбент должен иметь высокую сорбционную емкость, т.е. возможность поглощать большое количество адсорбтива при его малой концентрации в газовой среде, что зависит от удельной площади поверхности и физико-химических свойств поверхностных частиц. Адсорбционная емкость возрастает с увеличением поверхности, пористости, со снижением размеров пор адсорбента, а также с повышением концентрации адсорбтива в газе-носителе и давления в системе.

Адсорбент должен иметь высокую селективность (избирательность) в отношении адсорбируемого компонента. Он должен обладать достаточной механической прочностью. Чтобы аэродинамическое сопротивление слоя было невысоким, плотность адсорбента должна быть небольшой, а форма частиц обтекаемой и создавать высокую порозность насыпки. Адсорбент для процесса физической сорбции должен быть химически инертным по отношению к компонентам очищаемой газовой среды, а для химической сорбции (хемосорбции) - вступать с молекулами загрязнителей в химическую реакцию [2].

Проведенный анализ показал, что для очистки воздуха от газообразных и жидких компонентов в настоящее время используется большое количество высокоэффективных сорбентов, характеристики основных из них приведены ниже.

Для улавливания органических примесей из газовых сред можно использовать любые тонкопористые адсорбенты: активные угли, силикагели, алюмогели, цеолиты, пористые стекла и другие материалы.

Так достаточно широкое применение для очистки воздуха от газообразных и жидких компонентов имеют цеолиты – кристаллические нанопористые твердые тела с диаметром пор приблизительно 1 нм, которые являются хорошими сорбентами для многих органических и неорганических веществ. В процессах адсорбции и ионного обмена цеолиты проявляют молекулярно-ситовые свойства – избирательное поглощение одних ионов или молекул перед другими. Природные цеолиты широко распространены и дешевы, обладают уникальными физическими, физико-химическими, адсорбционными и ионообменными свойствами, возможностью их модифицирования, утилизации и регенерации [3].

Традиционно используется силикагель – синтетический сорбент, широко применяющийся в различных сферах промышленности и в быту. Силикагель представляет собой высушенный минеральный гель на основе кремниевых кислот, кремнезема. Промышленный способ получения силикагеля основан на взаимодействии жидкого стекла с серной кислотой с образованием гидрогеля, промывке гидрогеля и высушивании его. Силикагель хорошо известен как сорбент-осушитель и основа многих катализаторов. Силикагели способны сорбировать органические соединения различных классов: алифатические УВ (гексан, октан и др.), ароматические УВ (бензол, гексан), спирты (метанол, этанол). Недостатком силикагелей является их низкая водостойкость, ограничивающая области применения [4].

Перспективным является использование шунгитовых пород, скорлупы абрикосовых косточек и грецких орехов.

Однако, как показал анализ, только активные угли в полной мере соответствуют требованиям, предъявляемым к адсорбентам в адсорбционной технике: гидрофобность, высокая емкость, небольшая удерживающая способность, приемлемая величина гидравлического сопротивления слоя зёрен (гранул), достаточная прочность, стабильность поглотительной способности, минимальное каталитическое воздействие на органические соединения. Таким образом, наиболее эффективным процессом снижения концентрации органических паров в сбросных газах со степенью улавливания, близкой 100 %, является их обработка активным углём [5].

Уголь высокого качества получается из скорлупы кокосовых орехов. Для получения активированного угля также используются отдельные редкие сорта ископаемого угля и смолы, древесины различных пород. Активированный уголь может быть получен из других материалов, имеющих слоистую или ячеистую структуру, заполненную разлагающимися при нагреве веществами.

В настоящее время наблюдается тенденция использования различных способов загрузки материала в сорбционные фильтры или комбинирования сорбентов в них.

Интересным решением является использование в сорбционных фильтрах виброукладки калиброванных гранул угля. Она позволяет максимально заполнить объем, не оставляя сквозных каналов для воздуха. Таким образом, каждая молекула вредных газов гарантированно контактирует с активированным углем и полностью им поглощается [6]. Для интенсификации процесса используют импрегнированные поглотители, также комбинируют различные сорбенты. Например, сорбционный фильтр может состоять из 50% активированного угля и 50% сорбента на основе окиси алюминия импрегнированной перманганатом калия. Активированный уголь очищает газы с высокой молекулярной массой. Окись алюминия с перманганатом калия необходима для абсорбции газов с низкой молекулярной массой [7].

Проведенное аналитическое исследование показало, что в настоящее время для очистки воздуха от жидких и газообразных фракций загрязнений при пайке возможно использовать для загрузки в сорбционные фильтры разнообразные сорбционные материалы, выбор которых зависит от природы загрязнения. Наиболее универсальным и эффективным сорбентом для очистки воздуха является активированный уголь.

В паяльном дыме содержатся как жидкая, так и газообразная фракция загрязнителей, поэтому для очистки такого загрязнения показан такой универсальный сорбент как активированный уголь.

Для увеличения эффективности процесса очистки возможно использование комбинированных сорбентов.

Список литературы

[1] Сайфутдинов Р. Р., Булкин В. А., Аляев В. А. Адсорбционная установка для утилизации спирт-эфирной смеси из отходов производства / Р. Р. Сайфутдинов, В. А. Булкин, В. А. Аляев // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – №23. С. 167-170

[2] Ветошкин А.Г. Процессы инженерной защиты окружающей среды (теоретические основы). Учебное пособие / А.Г. Ветошкин – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та. – 2004. – 243 с.

[3] Назаренко О.Б., Зарубина Р.Ф. Применение бадинского цеолита для удаления фосфатов из сточных вод / О.Б. Назаренко, Р.Ф. Зарубина // Известия ТПУ. – 2013. – №3. – С. 11-14

[4] Ульянова М.А., Гурова А.С., Шредер В.Е. Водостойкие силикагели и области их применения / М.А. Ульянова, А.С. Гурова, В.Е. Шредер // Вестник ТГТУ. – 2006. – №1 – С. 83-91

[5] Мухин В.М., Клушин В.Н. Производство и применение углеродных адсорбентов / В. М. Мухин, В. Н. Клушин – М.: РХТУ имени Д.И. Менделеева. – 2012. – 306 с.

[6] Современные технологии нейтрализации паяльного дыма и вытяжное оборудование BOFA [Электронный ресурс] // Компания "Астэна": сайт - Режим доступа: <http://www.astena.ru/bofa-panyka.html> (Дата обращения 11.10.2017)

[7] Фильтры марки ФТ [Электронный ресурс] // АО «ФИЛЬТР»: сайт - Режим доступа: <http://www.ftov.ru/news/item/filtry-marki-ft> (Дата обращения 06.10.2017)

Короткова Валерия Евгеньевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kagami-no-yoru@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

А.Ю. Савченко, О.В. Яковлева

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

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

На городских очистных сооружениях в процессе обработки сточных вод образуется большое количество осадков, которые требуют дальнейшей переработки и утилизации. Осадки сточных вод представляют собой отдельный вид отходов, образование которых в условиях городов составляет 30-45% от общего количества отходов производства и потребления [1]. Проблемы утилизации и переработки осадков являются одними из самых важных в городах как России, так и зарубежья.

Оптимизация старых вариантов и разработка новых вариантов обработки и использования осадков сточных вод является актуальной проблемой на сегодняшний день.

Целью работы явилось проведение исследования возможности рациональной утилизации осадков сточных вод городских очистных сооружений.

В настоящее время отходы, образованные в процессе очистки городских сточных вод, – канализационные илы и осадки сточных вод (ОСВ), являются серьезной проблемой.

На станциях очистки сточных вод наибольшее количество осадков образуется после решеток, песколовок, отстойников и аэротенков. На решетках задерживаются в основном крупные бытовые отходы такие, как пакеты, палки, хлопчато-бумажные изделия. После прохождения воды через песколовки и отстойники образуются осадки более мелких фракций (песок, крупнодисперсные взвеси), после аэротенков основными компонентами осадков являются активный ил, коллоидные частицы и т.д. Затем осадок поступает на обработку.

Традиционно обработка ОСВ является трудоемким, сложным и экономически затратным процессом, который может включать несколько стадий:

- обезвоживание;
- кондиционирование;
- стабилизация;
- пиролиз или сжигание;
- утилизация или переработка.

Основными определяющими факторами утилизации ОСВ являются следующие: наличие свободных территорий для складирования и хранения; экономические ресурсы, необходимые для капитального строительства и эксплуатации очистных сооружений; альтернативные экологические технологии утилизации ОСВ, которые отличаются высокой наукоемкостью.

Как показал анализ, существует несколько основных направлений утилизации осадков сточных вод:

- использование в качестве удобрения;
- применение активного ила в качестве кормового продукта;

- использование осадка в качестве заполнителя при производстве строительных материалов,
- использование для производства сорбентов;
- в качестве источника энергии;
- в качестве материала для рекультивации полигонов;
- в химической промышленности.

Положение с утилизацией ОСВ на сегодняшний день следующее.

Исследование показало, что в настоящее время у нас в стране и за рубежом распространенным является захоронение отходов.

Европейские страны предполагают до минимума снизить захоронение отходов на свалках. Так, например, в Германии планируют увеличить использование отходов в сельскохозяйственном производстве с 25 до 40%, в настоящее время более половины их подлежат захоронению на свалках. В Финляндии из общего количества осадков, которое используется в виде удобрений, одна треть используется в качестве удобрений, 17% – применяются для городского озеленения, одна треть – при обустройстве магистральных дорог и около 20% компостируется [2].

В настоящее время в странах Европы распространены несколько путей утилизации осадков (табл. 1) [3].

Таблица 1

Основные методы утилизации осадков сточных вод

Страна	Использование в с/х	Захоронение на свалках	Сброс в моря и океаны	Сжигание
Англия	53	16	24	7
Германия	25	55	5	15
Дания	45	28	9	18
США	25	25	15	35
Финляндия	40	41	19	–

Европейские государства в настоящее время придерживаются тенденции использования ОСВ в сельском хозяйстве и отходят от захоронения их на свалках.

В России основным методом утилизации осадков сточных вод является их хранение на иловых площадках либо захоронение.

Как показал анализ, в настоящее время наметилось несколько основных путей утилизации ОСВ в России. С одной стороны, т.к. отходы очистных сооружений двухкомпонентные, состоят из органической и минеральной составляющей (80 и 20 % соответственно в свежих отходах), рационально после соответствующей обработки использовать их в сельском хозяйстве.

Внесение ОСВ в почву или производство на их основе различных компостов – один из основных путей решения проблемы их утилизации. Почва при этом обогащается питательными макро - и микроэлементами (азотом, фосфором, кальцием, магнием, молибденом, цинком, медью марганцем, кобальтом и др.) и органическим веществом. Это позволяет рассматривать ОСВ в качестве существенного источника питательных веществ в общем балансе удобрительных ресурсов.

Однако, в осадках, образующихся на очистных сооружениях городов с развитыми промышленными комплексами, обычно содержатся тяжелые металлы, что обуславливает их IV класс опасности. Традиционно такие виды отходов складировались под открытым небом и не подлежат дальнейшей переработке. Эти ОСВ также необходимо вовлекать в хозяйственный оборот. Данную задачу возможно решать, используя другие технологии.

Так активно развивающимся способом утилизации органических осадков является применение их в строительстве, в основном как инертная добавка в состав строительной смеси. ОСВ используют в производстве керамзита, черепицы, кирпича, добавки к бетонам, керамической плитки, в дорожном строительстве в виде добавок в асфальт, а также при производстве декоративного стекла.

Одним из наиболее перспективных направлений использования осадков является применение их в производстве керамзитового гравия. Осадок, применяемый в данном производстве, содержит окислы железа и углерода, которые создают необходимые условия для вспенивания глины при производстве керамзита.

Использование ОСВ в качестве инертной добавки в строительстве обуславливает двойную выгоду, предприятиям поставляется эффективная дешевая добавка, с другой стороны решается экологическая проблема, связанная с утилизацией данного вида отходов.

Проведенное аналитическое исследование показало, что применение осадков в качестве добавок при производстве строительных материалов, а также как удобрение для сельскохозяйственных целей и в качестве кормового продукта позволит более рационально и экономически выгодно использовать большое количество осадков, образующихся при очистке сточных вод на городских очистных сооружениях. Решение экологической проблемы ликвидации накопленных объемов ОСВ возможно путем их вовлечения в хозяйственный оборот в данных отраслях.

Список литературы

[1] *Евилевич А.З.* Осадки сточных вод: [Электронный ресурс]. – Электронно-библиотечная система «Iqlib». Режим доступа: <http://www.iqlib.ru>. (дата обращения 15.03.2018)

[2] *Зайнуллин Р.Р.* Современное состояние и перспективы утилизации осадков сточных вод // Международный журнал «Инновационная наука» №6. – 2016

[3] *Хисамеева Л.Р., Селюгин А.С., Абитов Р.Н., Бусарев А.В., Урмитова Н.С.* Обработка осадков городских сточных вод: учебное пособие / Л.Р. Хисамеева, А.С. Селюгин, Р.Н. Абитов, А.В. Бусарев, Н.С. Урмитова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2016. – 105 с.

Савченко Алена Юрьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alesawchenko@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

Н.О. Дудрова, Н.А. Бычков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 0,46-0,52 МКМ НА ОБРАЗОВАНИЕ МОДИФИКАЦИЙ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ

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

Проблема защиты внутренних поверхностей теплообменных аппаратов от накипи и в настоящее время считается не полностью решенной. Конечно, существует возможность использования дистиллированной воды, которая полностью снимает эту проблему. Но такой подход к защите внутренних поверхностей теплообменных аппаратов от накипеобразования не всегда возможен с технологической, технической и экономической сторон. Поэтому, для снижения накипеобразования в теплообменных аппаратах применяют реагентные, безреагентные и комбинированные методы водоподготовки.

Наиболее широко используемым безреагентным методом считается магнитная антинакипная обработка, которая способствует направленной кристаллизации карбоната кальция в виде игольчатого арагонита.

Также большое распространение получил электрохимический способ обработки воды, который сводится к выпадению осадка карбоната кальция в виде ромбоэдрического кальцита в результате подщелачивания раствора. При этом часть осадка выпадает непосредственно на поверхности катода, а более дисперсная фаза остается в растворе [1].

Эти способы не позволяют быстро и полностью удалить частицы карбоната кальция из обработанной воды. Ученые и инженеры находятся в постоянном поиске альтернативных вариантов водоподготовки.

Одним из возможных перспективных методов получения воды с низким уровнем накипеобразования является использование воздействия когерентного излучения лазера. Обработка воды лазерным излучением относится к физическим безреагентным методам, при которых не происходит какого-либо воздействия на химический состав воды, что исключает образование шлама и не влияет на вкусовые качества. Публикаций в научной литературе по проводимым исследованиям в области водоподготовки с применением лазерного излучения имеется не много. Поэтому, проводимые авторами исследования по воздействию лазерного излучения на воду с целью снижения накипеобразования являются актуальными и имеющими практическую значимость.

Накипь при нагревании воды в теплообменных аппаратах, в большей степени, образуется из-за наличия в ней карбоната кальция. Существует три модификации карбоната кальция: кальцит, арагонит, ватерит. Отличие модификаций друг от друга состоит в строении кристаллической решетки.

Кальцит кристаллизуется в форме ромбоэдров, удлиненных призм и образуется в условиях, соответствующих высокой прочности связывания в ионные ассоциаты. Для него характерна плотная поверхность кристалла с характерным ступенчатым ростом на гранях [2].

Арагонит относится к ромбической системе и может приобретать различные формы, например, игольчатые или зубилообразные. Он образуется в более узком диапазоне физико-химических условий по сравнению с кальцитом и является гораздо менее распространенной модификацией [3]. Он обладает более низкими значениями свободной поверхностной энергии в сравнении с кальцитом. Поэтому у кристаллов арагонита ниже адгезия к материалу теплообменной поверхности, ниже когезия отдельных кристаллов друг к другу, что приводит к снижению накипеобразующей способности карбоната кальция [4].

Ватерит – менее стабильная модификация, поэтому она формируется одновременно с небольшим количеством кальцита при значениях рН, соответствующих низкой прочности связывания в ионные ассоциаты.

Области формирования определенных модификаций обуславливаются в первую очередь значением водородного показателя и соотношением ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} . При определенных изменениях структуры воды удается вызвать кристаллизацию карбоната кальция в различных формах. Они представлены на рисунке 1 [1].

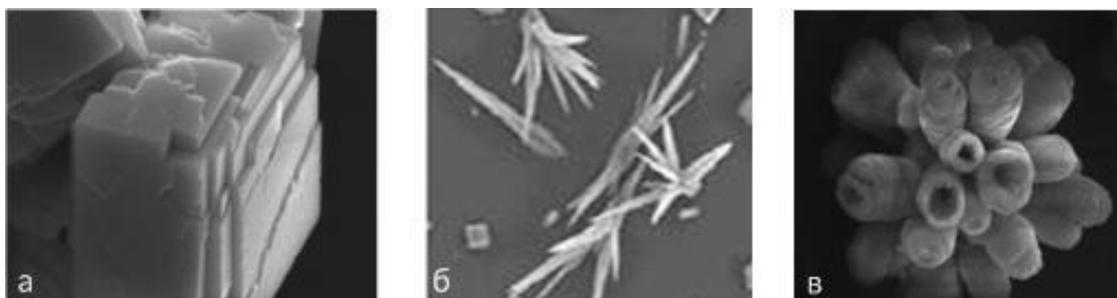


Рис. 1. Модификации в форме кальцита (а), арагонита (б) и ватерита (в)

Объектом исследования являлась водопроводная вода. Предметом исследования – образование модификаций карбоната кальция после воздействия лазерным излучением на воду и при ее кипячении.

Исследование изменений модификаций карбоната кальция в обработанной лазерным излучением воде, авторами осуществлялось в два этапа: на первом этапе исследовались изменения общей жесткости воды, на втором – формы кристаллов после облучения и кипячения воды.

В качестве источника лазерного излучения применялся аргоновый лазер ЛГ-106М сине-зеленого спектра с длиной волны 0,46-0,52 мкм и мощности излучения 5 Вт. Обработка проб лазерным излучением проводилась в интервалах 1, 3, 6, 15 и 20 минут. Объектом сравнения являлась контрольная проба, не подвергавшаяся облучению (таблица 1).

Общая жесткость воды определялась через содержание Ca^{2+} в контрольной пробе и в обработанной воде комплексонометрическим методом. Этот метод основан на образовании ионами Ca^{2+} внутрикомплексных соединений с трилоном Б. Результаты измерений и расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты измерений общей жесткости в пробах воды

Время, мин.	Ж _{об} , мг-экв/л		
	1	2	3
Контр.	5,2	5	5
1	4,4	4,6	4,4
3	4,2	4,2	4,4
6	4,2	3,8	3,8
15	4	3,6	3,6
20	3,8	3,6	3,6

Проведенная статистическая обработка результатов исследований выявила отличие значений жесткости воды в контрольной и экспериментальных пробах. По критерию однородности, было установлено что жесткость воды в пробах с обработкой лазерным излучением практически не различаются между собой. Таким образом установлено, что время экспозиции пробы лазерным излучением существенного влияния на изменение жесткости не оказывает, важно лишь наличие факта облучения. Данный вывод не является окончательным и требует подтверждения при дальнейших исследованиях с применением лазерного излучения с другими характеристиками.

Второй этап экспериментальных исследований заключался в исследовании изменений формы кристаллов и образования ассоциатов после облучения и кипячения воды. Так как при исследовании воды на общую жесткость было установлено, что время экспозиции воды лазерным излучением не оказывает существенного влияние изменение общей жесткости воды, был выбран интервал облучения воды в 6 минут. В эксперименте исследовались две пробы водопроводной воды: контрольная (вода не подвергалась лазерному облучению) и экспериментальная с водой, облученной в течение 6 минут. Жесткость воды в пробах составила: контрольная - 7,3 мг-экв/л, экспериментальная – 6,2 мг-экв/л.

Контрольная и экспериментальная пробы воды подвергались кипячению в течение 15 минут. Для получения визуальных результатов накипеобразования в сосудах с пробами перед кипячением размещались предметные стекла, на которых в процессе кипения осуществлялась кристаллизация модификаций карбоната кальция. После кипячения предметные стекла подвергались сушке в течение 3 минут. Каждое предметное стекло для подсчета количества кристаллов определенных модификаций и ассоциатов, размечалось на 5 сегментов. В 5 точках каждого сегмента с помощью

камеры, подключенной к персональному компьютеру и совмещенной с микроскопом типа Nikon Eclipse E200, осуществлялось фотографирование локализаций кристаллов.

На рисунке 2 приведена фотография кристаллов карбоната кальция в необработанной водопроводной воде.



Рис. 2. Фотография кристаллов карбоната кальция на предметном стекле для пробы необлученной воды

Из фотографии видно, что карбонат кальция представлен в модификации кальцита.

На рисунке 3 приведена фотография экспериментальной пробы.



Рис. 3. Фотография кристаллов карбоната кальция на предметном стекле для пробы, подвергнутой лазерному облучению воды

Из этих фотографий видно, что модификации карбоната кальция представлены в виде кальцита, как и в контрольной пробе, но также присутствует модификация арагонита и большое количество ассоциатов.

На пластинке экспериментальной пробы наблюдается значительное увеличение количества кристаллов арагонита и крупных ассоциатов кристаллов. Соотношение количества кристаллов разных модификаций карбоната кальция представлены на рисунке 4.

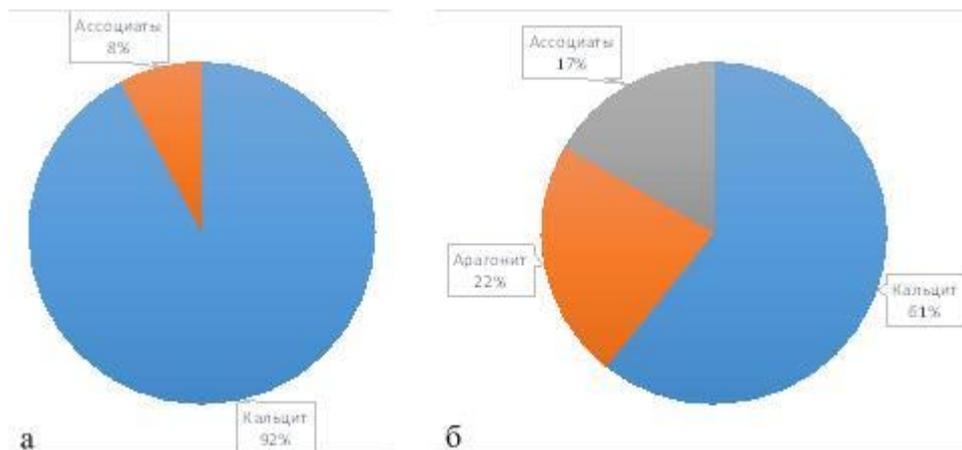


Рис. 4. Соотношение количества (в %) кристаллов и ассоциатов модификаций карбоната кальция на пластинке контрольной пробы (а) экспериментальной пробы (б)

Как видно из диаграмм в обработанной воде появился карбонат кальция в форме арагонита, но при этом все же содержание кальцита превышает арагонит почти в 3 раза.

На основании проведенных экспериментальных исследований и вышеизложенного, можно заключить, что воздействие лазерного излучения на водопроводную воду:

- приводит к изменению ее общей жесткости (общая жесткость незначительно снижается);
- время экспозиции при указанной мощности лазерного излучения не оказывает существенного влияния на изменение общей жесткости;
- при кипячении обработанной лазерным излучением воды, наблюдаются изменения в количественных соотношениях модификаций (появляется значительное количество модификации арагонит и крупных ассоциатов кристаллов);
- существенных различий в форме кристаллов модификации кальцита карбоната кальция, полученных в обработанной воде лазерным излучением, не установлено.

Все вышесказанное, позволяет сделать вывод о перспективности проведения дальнейших исследований в данном направлении, так как, получение в результате обработки воды лазерным излучением модификации карбоната кальция арагонит, позволит снизить интенсивность процесса накипеобразования на внутренних поверхностях теплообменных аппаратов. Это позволит проводить водоподготовку без применения реагентных методов и, соответственно устранить с ними связанные проблемы, а, также снизить расходы.

Список литературы

[1] *Гончарук В.В., Багрий В.А., Баитан С.Ю.* Кристаллизация карбоната кальция из водных растворов при наложении электрического и магнитного полей // *Химия и технология воды* №3, 2013. – 226-231 с.

[2] *Кекин П.А.* Кристаллизация карбоната кальция в технологических водных системах: дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, 2017.

[3] Кристаллизация карбоната кальция в магнитном поле. [Электронный ресурс]: сайт Ecolife URL: <http://www.magnetball.net/kristallizaciya-v-magnitnom-pole.html>

[4] *Бочкарев Г.Р., Величко А.А.* Влияние электрохимической обработки воды на форму кристаллизации карбоната кальция // *Известия высших учебных заведений. Строительство* №6, 2016. – 53-57 с. [Электронный ресурс]: Электронно-библиотечная система eLibrary. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9311994>

Дудрова Наталья Олеговна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: natadudrova@gmail.com

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

Л.А. Крылова, О.В. Яковлева

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИКИ СОСТАВА СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД ПРОМПРЕДПРИЯТИЙ КАЛУГИ

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

Проведенное исследование по определению наиболее крупных предприятий – источников загрязнения сточных вод показало, что на 95 % перечисленных предприятий предусмотрен некоторый набор локальных очистных сооружений для обезвреживания стоков перед их сбросом в канализацию города. Однако примерно 70 % из этих сооружений возведены еще в 80-ых годах прошлого века, что свидетельствует об их моральном и физическом износе, и, как следствие, низкой способности к очистке [1].

Проведенный анализ состава сбросов в сеть канализации предприятиями приборо- и машиностроения Калуги показал, что сточные воды имеют аналогичный по качеству и количеству состав. Исследование качества отводимых стоков за период 2014-2016 г.г. по показателям «металлы», которые наиболее негативно влияют на работу сооружений биологической очистки г. Калуга [2], свидетельствуют о том, что все предприятия имеют нарушения требований по соблюдению нормативов предельно допустимого сброса (ПДС) загрязнений в канализацию города. Такие предприятия как ОАО «Калугатрансмаш», ОАО «Калугатехремонт», АО «Калугапутьмаш», а также ПАО «КЗАЭ» осуществляют наиболее концентрированные сбросы сточных вод в городскую канализацию.

На сегодняшний день строгие требования законодательства ставят водопользователей в узкие рамки по соблюдению норм воздействия на окружающую среду, в том числе через централизованную систему водоотведения. Так, например, с 1 января 2019 г организации-абоненты Водоканала, допустившие превышение нормативов состава сточных вод (в 2-3 раза) должны разработать план снижения сбросов, который должен обеспечить предотвращение превышений нормативов состава сточных вод по всем веществам, по которым были допущены превышения, посредством реализации одного или нескольких из следующих мероприятий [3]:

- строительство или модернизация локальных очистных сооружений и (или) очистка сточных вод абонента с использованием локальных очистных сооружений, принадлежащих третьим лицам;
- создание систем оборотного водоснабжения;
- внедрение технологий производства продукции (товаров), оказания услуг, проведения работ, обеспечивающих снижение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах.

Целью данной работы являлось проведение мониторинга состава сточных вод выявленных предприятий-загрязнителей в отчетном году.

Результаты исследования за отчетный период – 2017 год, наглядно представлены на рис. 1-4 и дают возможность сделать вывод о готовности или неготовности анализируемых предприятий к внедрению на практике требований нового законодательства.

Исследование показало, что сточные воды промышленных предприятий, поступающие в канализацию города богаты по содержанию железом. Наибольший сброс железа в исследованном периоде относительно общего состава стока по предприятию осуществляли АО «Калугаприбор», ОАО «КАДВИ», ООО «Электротехнический завод». В 2017 году содержание железа в стоках данных предприятий снизилось ниже норматива допустимого сброса (рис. 1).

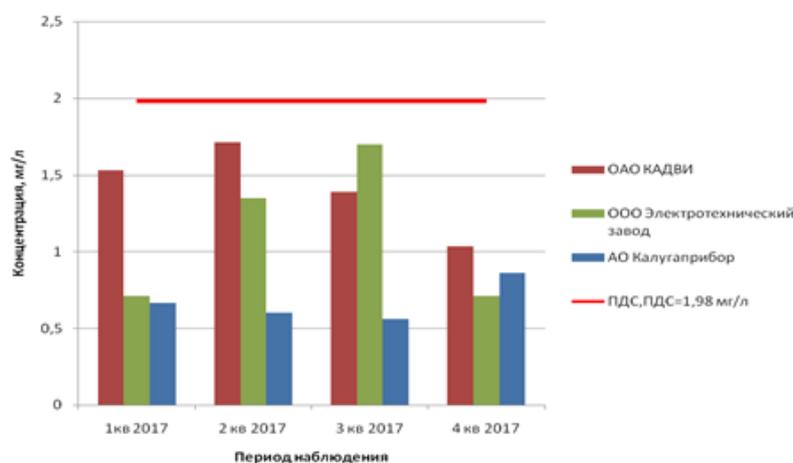


Рис. 1. Показатели сброса железа предприятиями города

Сточные воды ОАО «Калугатрансмаш», АО «Калугатехремонт» и АО «Калугапутьмаш» содержали наибольшее количество цинка. В отчетном году также наблюдалось превышение норматива по цинку для АО «Калугатехремонт» и АО «Калугапутьмаш» в отличие от ОАО «Калугатрансмаш». Сточные воды этого предприятия содержат повышенные концентрации цинка, но без превышения норм (рис. 2).

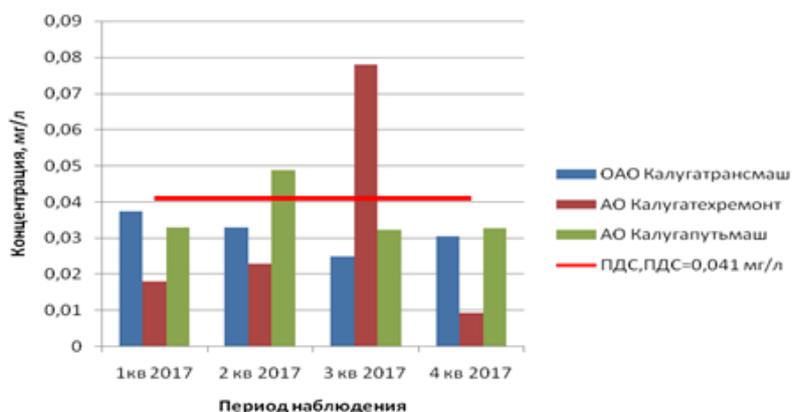


Рис. 2. Показатели сброса цинка предприятиями ОАО «Калугатрансмаш», АО «Калугатехремонт», АО «Калугапутьмаш»

Выявлено также, что богаты содержанием цинка и сточные воды ООО «Фольксваген Групп РУС», АО «Тайфун», ПАО «КЗАЭ». Исследование показало, что на ПАО «КЗАЭ» периодически происходят залповые сбросы цинка (с превышением норматива более чем в 100 раз). В 2017 году этими предприятиями по-прежнему сбрасывается большое количество цинка со сточными водами (рис. 3) за исключением АО «Тайфун».

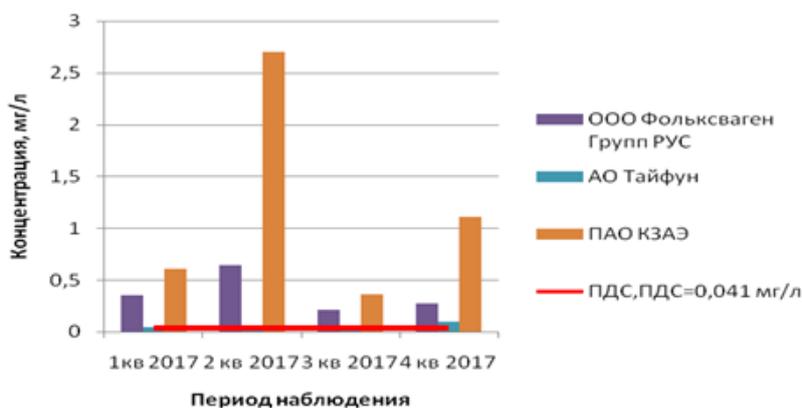


Рис. 3. Показатели сброса цинка предприятиями ООО «Фольксваген Групп РУС», АО «Тайфун», ПАО «КЗАЭ»

Проведенное ранее исследование показывало, что предприятиями Калуги сбрасывалось в городскую канализацию существенное количество никеля. Наибольшие концентрации никеля сбрасывали со сточными водами предприятия ОАО «Калугатрансмаш», ОАО «Калугатехремонт» и АО «Калугапутьмаш». Однако в 2017 г в сточных водах этих предприятий следов никеля не обнаружено.

По меди сброс согласно полученным результатам осуществлялся большинством предприятий приблизительно в равных количествах. Наибольшее количество меди поступало со сточными водами ОАО «Калугатрансмаш», ОАО «Калугатехремонт», АО «Калугапутьмаш» и ПАО «КЗАЭ». В отчетном году данными предприятиями также производился сверхнормативный сброс меди (рис. 4). Превышение норматива достигало 90 раз.

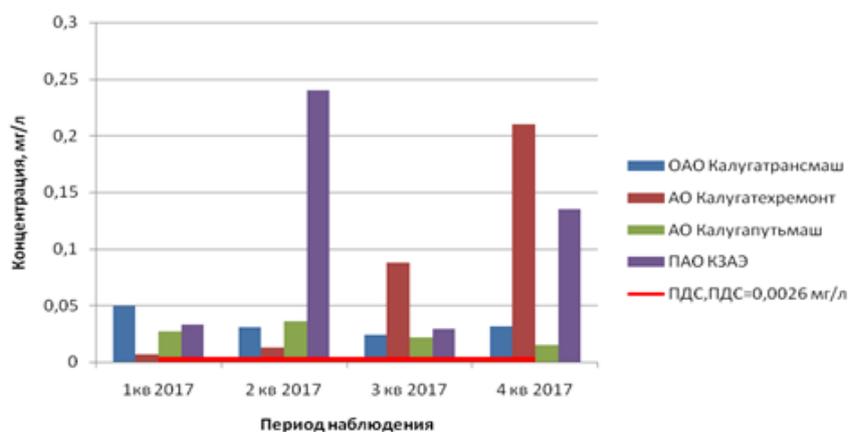


Рис. 4. Показатели сброса меди предприятиями города

Поступление сточных вод приведенного в работе состава в дальнейшем отрицательно влияет на работу городских очистных сооружений.

Проведенное исследование показало, что обнаруженные слабые места (износ локальных очистных сооружений, несовершенство технологий и др.) в процессе отведения сточных вод от промпредприятий по-прежнему не устранены. Имеются превышения концентраций загрязняющих компонентов в сточных водах, таких как цинк и медь.

Следует отметить, что недостаточное изъятие металлов из сточных вод не только негативно сказывается на работе городских очистных сооружений, но и является нецелесообразным для экономики самих предприятий, так как теряется возможность вторичного использования осажденных компонентов.

Список литературы

[1] Крылова Л.А., Яковлева О.В., Стрельченко, С.С., Корнюшин Ю.П. Мониторинг сброса промышленных стоков и их влияние на эффективность работы очистных сооружений г. Калуги / Л.А. Крылова, О.В. Яковлева // Международный научно-технический журнал «Наукоемкие технологии». – 2017. – № 10. – С. 43-48.

[2] Инженерная экология литейного производства [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Н. Болдин [и др.]. – Электрон. дан. – Москва: Машиностроение, 2010. – 352 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/738> (дата обращения: 05.03.2018)

[3] Федеральный закон от 29.07.2017 N 225-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "О водоснабжении и водоотведении" и отдельные законодательные акты Российской Федерации" (вступ. в силу с 01.01.2019)

Крылова Любовь Александровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 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

Е.О. Карева, М.И. Морозенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТКО

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

В настоящее время среди предлагаемых мер, способствующих преодолению сложившейся практики обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО), находят применение новые технологии термической переработки ТКО с выработкой электрической и тепловой энергии – технологии высокотемпературной переработки отходов, или так называемой плазменной газификации отходов.

Плазменная переработка отходов с использованием пароводяной плазмы рассматривается в качестве перспективного альтернативного пути совершенствования и развития технологий переработки отходов. Результатом такой технологии является утилизация углеродсодержащих отходов путем использования их энергетического потенциала для получения энергетически ценного продукта – синтез-газа, состоящего в основном из монооксида углерода (СО) и водорода (Н₂) с минимальным содержанием жидких фракций (смол) и вредных примесей [1].

Исследованы параметры разработанной технологической схемы пароплазменной газификации для переработки ТКО. Генерируемый в результате такого процесса синтез-газ имеет следующий расчетный состав при средней температуре в реакторе 1200°С и при условии термодинамического равновесия в газификаторе: 24,20% (СО), 5,41% (СО₂), 45,86% (Н₂), 0,47% (N₂), 24,0% (Н₂О).

В результате энергетического расчета исследуемого процесса была определена теплотворная способность синтез-газа, т. е. теплота сгорания его горючих компонентов. При средней температуре в реакторе 1100°С низшая теплота сгорания сухого синтез-газа составила 7999,8 кДж/нм³, а при увеличении температуры до 1300 °С энергетическая ценность увеличилась до 8014,5 кДж/нм³. Таким образом, с повышением температуры наблюдается рост теплотворной способности синтез-газа [2].

Произведено обоснование выбора генератора плазмы в системе пароплазменной газификации для переработки ТКО. Наиболее близким к расчетным параметрам является высоковольтный трехфазный электродуговой генератор плазмы или плазмотрон переменного тока со стержневыми электродами, работающий на воздухе [3]. В основу работы плазмотрона положен принцип электродинамического движения дуг в поле собственного тока (рельсотронный эффект). Особенностью плазмотронов данного типа является наличие пульсаций мощности, что существенно улучшает условия теплообмена в реакторе и делает их наиболее подходящими, когда не-

обходимо получить высокую температуру в достаточно большом объеме, в частности в реакторе-газификаторе [4, 5].

Ввиду сложности исследуемого процесса на качество получаемого синтез-газа могут влиять различные факторы. Основные технологические параметры, влияющие на процесс пароплазменной газификации [6]:

- 1) распределение температуры по всему объему зоны газификации;
- 2) интенсивность подачи реагентов;
- 3) скорость продува установки (разряжение в камере реактора);
- 4) химический состав ТКО;
- 5) напряжение и сила тока дуги плазмотронов;
- 6) объем камеры реактора;
- 7) распределение реагентов в реакторе.

В результате изменения каких-либо технологических параметров случайно, либо преднамеренно стабильная работа системы пароплазменной газификации может быть нарушена. Поэтому немаловажной задачей является обеспечение непрерывности и надежности технологического процесса.

Для систематизации причин отказов рассматриваемой системы разработана логико-вероятностная модель – дерево «неисправностей» системы пароплазменной газификации, которая позволяет выявить причинно-следственные связи между наиболее значимыми отказами.

Для того чтобы определить вероятность отказа, была определена вероятность безотказной работы каждого элемента данной системы в течение периода работы $t = 10000$ ч по формуле для экспоненциального закона надежности [7, 8]:

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) = \exp(-\lambda t) \quad (1)$$

где λ – интенсивность отказов, $ч^{-1}$;

Значения вероятностей отказа и безотказной работы анализируемой системы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения вероятностей отказа и безотказной работы системы пароплазменной газификации

Наименование события	Вероятность отказа Q	Вероятность безотказной работы P
Выход из строя механической части	0,044	0,956
Выход из строя электрооборудования	0,021	0,979
Функциональный отказ	0,064	0,936
Параметрический отказ	0,072	0,928
Отказ системы пароплазменной газификации	0,133	0,867

Количественная оценка надежности системы пароплазменной газификации относится к задаче, решаемой с использованием методов теории ве-

роятности, она базируется на статистике аварийных ситуаций, происшедших на аналогичных объектах.

Таким образом, анализ вероятности отказа системы пароплазменной газификации в течение времени $t = 10000$ ч показал, что данная система является надежной. Показатели ее безотказности могут быть улучшены путем резервирования тех звеньев, вероятность отказа которых велика, а также путем уменьшения периода эксплуатации.

Список литературы

[1] *Аньшаков А.С., Фалеев В.А., Даниленко А.А., Урбах Э.К.* Исследование плазменной газификации углеродсодержащих техногенных отходов // Теплофизика и аэромеханика. – 2007, Т. 14. – №4. – с. 639-650.

[2] *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.

[3] *Карева Е.О., Морозенко М.И.* Обоснование выбора генератора плазмы в системе плазменной газификации ТКО // Наукоемкие технологии в приборо- 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. – с. 36-40.

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

[5] *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.

[6] *Буянтуев С. Л., Шишулькин С. Ю., Шаронов К. С.* Вопросы оптимизации теплофизических параметров плазменного газификатора углей // Вестник БГУ. – 2009. – №3. – с. 146-152.

[7] *Корчагин А. Б.* Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие в 2 ч. / *А.Б. Корчагин, В.С. Сердюк, А.И. Бокарев.* – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 140 с.

[8] *Сердюк В.С.* Надежность технических систем и техногенный риск: конспект лекций / *В.С. Сердюк, А.Б. Корчагин.* – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – 86 с.

Карева Евгения Олеговна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: kareva_zhenya1994@mail.ru

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

Ю.М. Жукова, А.Г. Егорова

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН КАК СОРБЕНТА

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

В последние годы для очистки сточных вод от соединений тяжелых металлов все большее применение находят минеральные (природные) сорбенты, к которым относятся различные глины. Использование таких сорбентов обусловлено достаточно высокой емкостью их, избирательностью, катионообменными свойствами некоторых из них, сравнительно низкой стоимостью и доступностью (иногда как местного материала).

Одним из таких минеральных сорбентов является бентонит. Благодаря своим ионообменным, сорбционным и связующим свойствам, бентониты нашли широкое применение: от обогащения руд и нерудных концентратов до лекарственных препаратов. Свойства глинистых пород во многом определяются кристаллическими особенностями минералов. Глины являются адсорбентами, способными к обмену катионами и анионами. Обменная способность глин обусловлена, главным образом, глинистыми минералами и частью органическими соединениями и варьируются в зависимости от месторождения.

Месторождением бентонитовых глин Калужской области является Борщевское месторождение палыгорскитовых глин, вблизи д. Борщевка, Ферзиковского района.

Минеральный и химический анализ этих глин, а также изученные области возможного применения в работе [1] показали, что их применение возможно в качестве буровых растворов, формовочных смесей, и после соответствующей обработки они могут использоваться в качестве сорбента.

В межпакетном пространстве монтмориллонита располагаются катионы металлов (Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ и другие), нейтрализующие отрицательный заряд слоев. По данным К. К. Гедройца обменная способность катионов тем выше, чем больше их валентность, а в пределах одной валентности она тем выше, чем больше атомный вес. По способности вхождения в поглощающий комплекс катионы можно расположить в следующей последовательности: $\text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$ [2].

Что касается глин, применяемых в данной работе, то для них характерны следующие особенности химического состава: $\text{Mg} > \text{Al} > \text{K} > \text{Fe}$ или $\text{Al} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$ [1].

По результатам исследований и химического состава глин в работе [3] были предложены три наиболее вероятные сочетания гидроксил-октаэдрической группы, характерные для Борщевского месторождения: AlMgOH , $\text{AlFe}^{2+}\text{OH}$ и $\text{Fe}^{3+}\text{MgOH}$.

Согласно литературным данным, бентониты целесообразнее использовать после предварительной активации [4]. Доступный и недорогой активатор, обеспечивающий высокую сорбционную емкость получаемых материалов, позволяет не только снизить затраты на данный процесс, но и существенно уменьшить стоимость получаемых адсорбентов. При активации необходимо учитывать природу извлекаемого вещества и среду, в которой будет протекать процесс адсорбции: жидкой или газообразной. Выбор типа активации чаще всего определяется характером извлекаемых соединений и составом бентонита. При использовании бентонитов в качестве сорбционных материалов для извлечения ионов металлов из водных растворов применяются следующие основные виды активации: термическая, кислотная, солевая и содовая [5].

Физико-механические свойства сорбентов обуславливаются как прочностью связей в макромолекулярном каркасе (макроряды), так и особенностями привитых функциональных групп, состоящих из фиксированных и обменных ионов.

В процессе сорбционных технологий физико-механические характеристики сорбентов были оценены по ряду следующих параметров: влажность сорбента; истинный объем навески сорбента; зольность сорбента. Предварительным этапом было фракционирование с диаметром частиц 0,25 мм, 1 мм, 2 мм, 3 мм. Определяемые характеристики бентонитовых глин приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры бентонитовых глин			
Размер фракций, мкм	Влажность, %	Истинный объем, см ³ /г	Зольность, %
0,25	0,072	1,96	99,87
1	0,083	0,88	99,87
2	0,078	0,86	99,88
3	0,079	0,80	99,87

В результате были получены практически равномерные значения влажности, независимо от фракционного состава. Истинный же объем сорбента увеличивался с уменьшением диаметра частиц. Зольность, как и влажность, не имела зависимости от фракционного состава.

Список литературы

[1] Пимнева Л.А. Современные наукоемкие технологии / Л.А. Пимнева – 2013. – № 2 – 99-101 с.

[2] Куртукова Л.В., Сомин В.А., Комарова Л.Ф. Исследования по удалению из воды солей жесткости с применением сорбентов на основе минеральных волокон и бентонитовых глин // Успехи современного естествознания. - 2013. - № 12. - С. 29-31.

[3] *Наседкин В.В., Васильев А.Л., Боева Н.М., Белоусов П.Е.* Геология, минералогия и генезис палыгорситовых глин Борщевского месторождения Калужской области и перспективы их технологического использования / Геология рудных месторождений. 2014. Т. 56. № 3. С. 237-258.

[4] *Боева Н.М., Бочарникова Ю.И., Новиков В.М.* Зависимость энтальпии деградации обменных катионов монотмориллонита в бентоните острова Сахалин / Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2015 № 4. С.84-90.

[5] *Комаров В.С.* Адсорбенты: получение, структура, свойства/ В.С. Комаров, А.И. Ратько. – Минск: Беларус. навука. 2013. –256 с.

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

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

Н.Д. Кара, Ю.М. Жукова

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

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

Проблема охраны водной среды, помимо ее глобального значения, имеет ярко выраженный региональный характер. В регионах с более высоким уровнем развития и концентрации производительных сил и процессов урбанизации актуальность данной проблемы усиливается в связи с повышенной хозяйственной освоенностью территории, большей плотностью населения и т.п. И в зависимости от того, как будет организовано производство, то есть как будут использованы природные ресурсы и какие будут приниматься меры по защите водных объектов в промышленных городах, зависит социально-экономическое благополучие населения этих городов [1].

В структуре использования воды более 50 процентов приходится на долю промышленности. Наиболее водоемкие отрасли промышленности - электроэнергетика, черная и цветная металлургия, химическая и нефтехимическая, топливная и машиностроение.

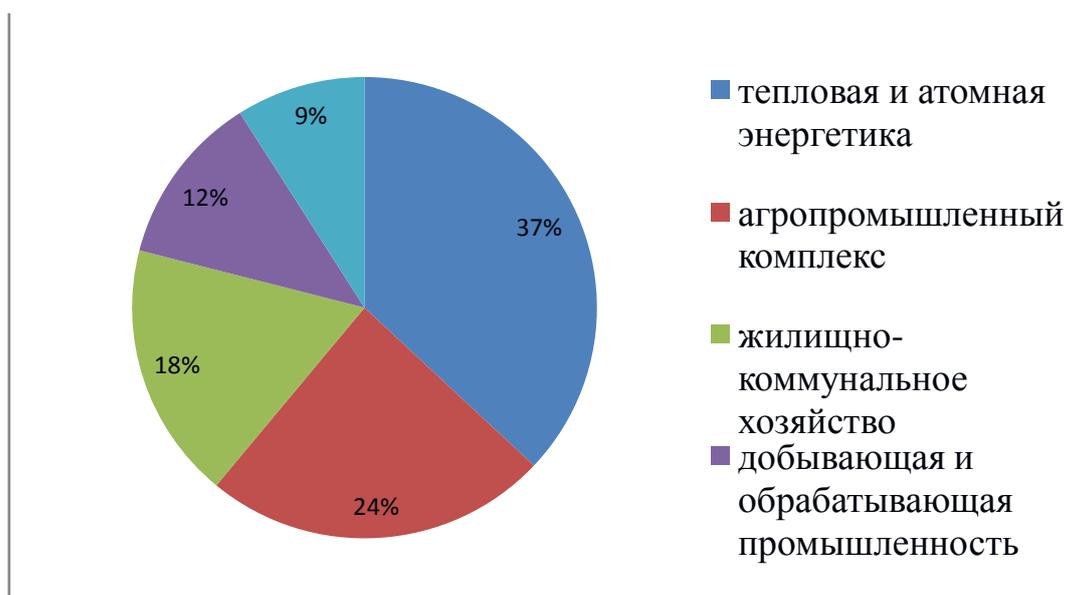


Рис. 1. Объем использования водных ресурсов по отраслям промышленности

Для эффективного функционирования водного хозяйства каждое предприятие, как составная часть водного хозяйства, должно рационально использовать водные ресурсы. Определенные мероприятия могут помочь в решении данной задачи. Например, на предприятии должны быть разработаны индивидуальные текущие балансовые нормы (ИТБН) водопотребления и водоотведения на единицу произведенной продукции. Составленные нормы предназначены для определения потребности в водных ресурсах, установления лимита отпуска воды и сброса сточных вод, разработки мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов [2].

Этапы оценки эффективности водопользования

Этапы оценки	Содержание оценки
Планирование	- Создание системы научно-обоснованных норм и нормативов водопотребления и водоотведения - Оценка жизненного цикла - Аудит системы водопользования
Выбор показателей	Показатели соответствия технологий уровню НТД Уровень организации системы оборотного водоснабжения Значения индивидуальной нормы водопотребления и водоотведения Уровень технической организации водохозяйственной деятельности предприятия, оказывающего негативное воздействие на окружающую среду
Сбор и анализ данных	- Обработка и анализ информации
Составление отчетности	- Отчет

Основной идеей таких норм является разработка экономических и технически обоснованных нормативов расхода воды с целью рационального расходования и осуществления режима экономии.

Необходимо, чтобы хозяйственная деятельность предприятий ориентировалась на сохранение экосистемы региона – не истощительного использования возобновляемых ресурсов (растений, животного мира) и уменьшения употребления не возобновляемых ресурсов [3].

Внедрение систем оборотного водоснабжения на предприятии позволяет экономить водные ресурсы. Лимит водоотведения за счет модернизации системы оборотного водоснабжения составляет 80% от водопотребления.

Причины низкой эффективности рационального водопользования:

- применение устаревших водоемких производственных технологий;
- высокий уровень потерь воды при транспортировке;
- недостаточная степень оснащенности водозаборных сооружений системами учета;
- отсутствие эффективных экономических механизмов, стимулирующих бизнес к активному внедрению прогрессивных водосберегающих технологий производства;
- отсутствие систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения.

Совершенствование водных технологических схем приводит в конечном итоге к созданию замкнутых систем водопользования. Их основой является очистка локальных потоков сточных вод, поэтапное увеличение удельной доли повторно используемой и оборотной воды, создание локальных замкнутых систем технического водоснабжения. Достаточно глубокая очистка сточных вод – это необходимое условие функционирования ЗСВ.

Каждый водохозяйственный комплекс должен удовлетворять следующим основным условиям:

- рационально обеспечивать водопользователей по количеству и качеству используемой воды;
- гарантировать охрану водоемов от загрязнения и истощения;
- гарантировать надежную систему эксплуатации всех водохозяйственных сооружений.

При перспективном водохозяйственном планировании необходимо учитывать все факторы воздействия на водоем при расчете его самоочищающей способности. Основой охраны водных ресурсов следует считать максимальное уменьшение поступающих в них загрязнений в водоемы [4].

Основными принципами создания замкнутых систем водоснабжения промышленных предприятий являются:

- создание на предприятиях единой системы водного хозяйства;
- водоотведение и очистка сточных вод перед их повторным использованием;
- водообеспечение за счет очищенных производственных, городских и поверхностных сточных вод;
- регенерация отработанных технологических растворов и утилизация извлеченных ценных компонентов [5].

Водные объекты с допустимой степенью загрязнения могут использоваться для всех видов водопользования без ограничений; с умеренной степенью загрязнения – только для культурно-бытового водопользования; с высокой степенью загрязнения – опасны для любого вида водопользования. Водные объекты с чрезвычайно высокой степенью загрязнения абсолютно непригодны для всех видов пользования.

Таким образом, научно–техническая задача создания замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий состоит в совершенствовании технологии основной продукции и рациональном использовании водных, энергетических и других видов ресурсов.

Список литературы

[1] *Данилов-Данильян В.И.* Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России. – М.: ООО «Типография ЛЕВКО», 2009. – 88 с.

[2] *Тарасова Ю.М.* Экоиндикаторы эффективности управления водными ресурсами // Экономика промышленности. – 2012. – 117 с.

[3] *Ушаков Е.П.* Рентные отношения водопользования в России. – М.: Наука, 2008. – 79 с.

[4] *Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л.* Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. – М: Научный мир, 2010. – 232 с.

[5] Методические указания по разработке норм водопотребления и водоотведения с учетом качества потребляемой и отводимой воды промышленности / ВНИИВодгео Госстроя СССР. Украинский филиал НИИ-ПиН при Госплане СССР 252133, 1979. – 26 с.

Кара Нелли Дмитриевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: kara.nelli@yandex.ru

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

М.А. Кривочкин, О.В. Яковлева

МЕТОДЫ И СХЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД АЭРОПОРТОВ

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

На сегодняшний день многие люди пользуются услугами авиакомпании для экономии времени на перемещение по миру. В России воздушный транспорт является одним из основных видов пассажирского транспорта и занимает третье место по объему пассажирских перевозок. Этот вид транспорта активно используется в народном хозяйстве для перевозки срочных грузов, выполняет работы при строительстве трубопроводов, мостов, ЛЭП, участвует в проведении работ для сельского хозяйства, геолого-разведки, рыбного промысла. Для поддержания системы авиaperезовок в рабочем состоянии необходимо тщательно следить за состоянием не только авиасудов, но также и за искусственными взлётно-посадочными полосами (ИВПП).

В нашей стране климат довольно жёсткий, присутствуют большие перепады температур, выпадают обильные осадки. Благодаря этим факторам ИВПП может стать непригодной для использования даже при небольшом воздействии на неё внешних факторов среды. Именно поэтому сбор и отведение поверхностных вод, образующихся в периоды выпадения атмосферных осадков, является задачей первостепенной важности. Без правильно оборудованной ИВПП ни о каких полётах не может быть и речи. Также необходимо помнить о том, что поддержание чистоты на прилегающей территории аэропорта крайне важно.

Водоотводные системы аэропортов являются сложными инженерно-техническими сооружениями, от надежности работы которых, зависит долговечность работы аэродромных сооружений, в первую очередь искусственных покрытий, а также безопасность выполнения взлетно-посадочных операций. Поэтому организация очистки промышленно-ливневых сточных вод аэропортов является актуальной.

Целью работы являлось исследование тенденций в области используемых методов и схем очистки промливневых стоков аэропортов.

При проведении исследования выявлено, что промливневой сток аэропортов содержит в своем составе такие загрязняющие вещества как нефтепродукты, взвеси, аммонийный азот и этиленгликоль, иногда фенолы, смолы и поверхностно-активные вещества. Качественный и количественный состав стока определяет выбор методов и применяемых схем очистки.

Можно отметить, что для очистки ливневых стоков с территории аэропортов применяются повсеместно методы механической очистки, далее в зависимости от характеристик загрязнения, используются биологические

методы, физико-химические с последующим обеззараживанием очищенного стока.

Современные системы очистки сточных вод позволяют очистить сток с территории аэропорта не только до значений ПДК для сброса в канализационную сеть, но и до требований сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения, а также появляется возможность повторного использования очищенных сточных вод.

Проведенное аналитическое исследование показало, что как у нас в стране, так и за рубежом в крупных аэропортах применяются повсеместно следующие системы очистки.

Большинство крупных аэропортов мира имеют очистные сооружения, построенные по "классической" схеме с типовым набором элементов - аккумуляющей емкости, иловой площадки, насосной станции, нефтесборных устройств и элементов биологической очистки - специальных прудов. Такие очистные сооружения обеспечивают достаточно высокую степень очистки на уровне предельно-допустимых концентраций, соответствующих водоему рыбохозяйственного назначения.

В настоящее время в ряде проектов водоотводных систем аэродромов использованы испарительные и испарительно-поглощающие бассейны. Это бессточные очистные сооружения, обеспечивающие сбор и утилизацию сточных вод без сброса их в водные объекты окружающей территории. В результате обеспечивается сохранность экологического баланса территории, предотвращается ее загрязнение.

Интересной разработкой являются габионные очистные фильтрующие сооружения ливневых стоков (ГОФС), в основу работы которых положен известный экологический подход, заключающийся в мобилизации природных возможностей самоочищения экосистем водных объектов [1]. В состав габионного очистного фильтрующего сооружения входят четыре ступени очистки: отстойник, фильтрующая камера с зернистой загрузкой, биоплато, фильтрующая камера с сорбентом (рис. 1).



Рис. 1. Схема габионных очистных фильтрующих сооружений ливневых стоков

Совместное действие сообщества растений и микроорганизмов, населяющих биоплато, обеспечивают очистку стока не только от органических веществ и нефтепродуктов, но и от тяжёлых металлов. После биоплато сток попадает в фильтрующую камеру с сорбентом, где происходит окончательная доочистка его до уровня ПДК рыбохозяйственных вод.

Однако приоритетным направлением на сегодняшний день является использование для очистки промливневых сточных вод аэропортов более компактных очистных сооружений контейнерного типа. Эти сооружения позволяют доводить уровень очистки до требований показателей водоема рыбохозяйственного назначения.

Разработаны различные модификации блочно-модульных станций очистки ливневых очистных сооружений предназначенных для очистки поверхностных стоков с аэродромных покрытий.

Для достижения наилучшего результата технология очистки стоков таких станций предусматривает следующие процессы:

- аккумулярование сточных вод;
- флотация;
- фильтрование в напорных осветительных фильтрах;
- фильтрование в напорных сорбционных фильтрах;
- фильтрование в напорных ионообменных фильтрах.

Данный комплекс очистки оснащается оборудованием ультрафиолетового обеззараживания очищенных сточных вод.

Еще более компактным сооружением очистки ливневого стока аэропортов являются очистные сооружения, на которых наряду с методами механической, физико-химической очистки используется метод фотокаталитического окисления (ФКО) устойчивых растворенных органических веществ [2]. Он заключается в обработке сточных вод окислителем и дальнейшей выдержке в фотокаталитическом реакторе, в результате чего образуется сильнейший окислитель – гидроксил-радикал. В результате проводимого процесса образуются продукты распада, удаляемые традиционными методами. Метод ФКО обеспечивает стабильные результаты по качеству очистки сточных вод, используемые блочно-модульные установки легко и быстро запускаются в работу. Установки компактны (по сравнению с традиционными методами физико-химической, биологической очистки), легко модулируются.

С повсеместным внедрением для очистки рассматриваемых стоков физико-химических методов стало возможно проводить очистку ливневых сточных вод до показателей, соответствующих нормам хозяйственно - питьевого водопользования (рис. 2). Это делает возможным повторное использование воды в системе водообеспечения аэропорта, что минимизирует воздействие на окружающую среду и создает экономическую эффективность внедрения.

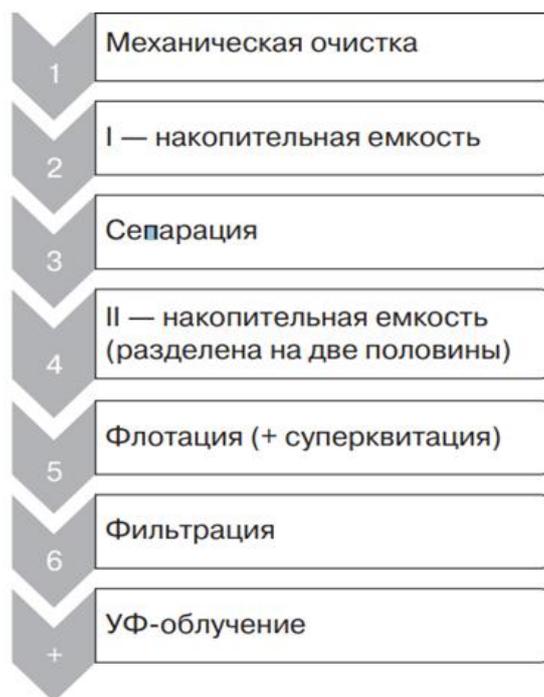


Рис. 2. Технологическая схема очистки ливневых сточных вод аэропорта

Проведенное аналитическое исследование показало, что в настоящее время для очистки ливневых сточных вод аэропортов используются различные методы очистки. Наиболее оптимальное решение - это комбинирование методов с использованием физико-химической очистки. Для проведения процессов очистки ливневых сточных вод с территории аэропортов актуально использование блочно-модульных установок. Они отличаются эффективностью процессов очистки, компактностью, обеспечивают очистку ливневых сточных вод до показателей, соответствующих техническому заданию.

Список литературы

[1] *Абуова Г.Б.* Исследование современных сооружений для очистки ливневых стоков. – Электрон. дан. – 2015. – Т. 1. – 344 с.

[2] *Круглик В.М.* Технология обслуживания и эксплуатации автотранспорта: учеб. пособие. – Минск: Новое знание, 2013. – 260 с.

Кривочкин Михаил Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: xameleonnn@gmail.com

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

С.Н. Никулина, А.Е. Васюков, О.А. Шмакова, Т.А. Чудакова,
М.В. Цымбалюк

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАСОЛЕННОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА Г. КАЛУГИ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОМ

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

Калуга стремительно развивается, и за последние годы превратилась в промышленно - развитый регион. В связи с динамичной урбанизацией города усиленно меняется и засоленность почвы. Для предотвращения негативных последствий «шумной» деятельности человека: повседневного выброса выхлопных газов в атмосферу, въедающихся в почву, смещения кислотности верхнего плодородного слоя земли – гумуса, вследствие слива отходов промышленных производств в почву, и повышения NaCl – ионов в земле необходим организованный метод исследования самой почвы. Однако, определение многих показателей и степени загрязненности сводится к применению дорогостоящего оборудования и проведению опытов, качество которых зависит от фактора времени. Поэтому актуальность разработки «быстрого» способа выявления засоленности почвы является очевидной. Одним из предложенных экспресс - методов является метод, комбинирующий биоиндикацию и сведения о минерализации вод, используемых в качестве эталонных при сравнении показателей кислотности рН с пробами свежего снега. Метод применим в зимний период года, носит практический и легко осуществимый характер на теоретической гипотезе: почва под слоем снега будет иметь такую же засоленность, что и снежный покров, так как соли накапливаются в почве со временем, откладываются и вымываются с трудом.

Объект исследований: маломинерализованные талые воды, свежий снежный покров, пробы которого взяты в г. Калуга.

Экспресс – метод заключается в отборе проб снега и талых вод (в виде ледяных сталактитов), сравнении их показателей кислотности (рН), используя свежий снег в качестве эталона сравнения, проведении биоиндикации талых вод и заключении о засоленности снежного покрова на основании полученных результатов эксперимента.

Благодаря высокой сорбционной способности, снег накапливает в своем составе многие вещества, поступающие в атмосферу. В связи с этим снег можно рассматривать как своеобразный индикатор загрязнения окружающей среды. В снежном покрове накапливаются различные вредные вещества, которые с талыми водами поступают в открытые и подземные водоемы, почву, загрязняя их. Снег можно исследовать так же, как и воду. В свою очередь, ледяные сталактиты, сосульки, при малом проникновении так же накапливают в себе немалое количество различных веществ, сконцентрированных в атмосфере. Чтобы удостовериться в правильности полученных измерениях рН кислотности и минерализации, сравниваем предложенные объекты исследования. Поскольку концентрации нормируемых загрязняющих веществ в пробах сравнимо малы, а кислотность в результате одинакова, сведена к общему среднему значению $pH < 7$, то используется Кондуктометр для выведения общей закономерности об удельной электропроводности исследуемых проб талых вод и снега.

Засолением почвы называют избыточное скопление в корнеобитаемом слое электролитных (растворенных или поглощенных) солей, которые угнетают или губят сельскохозяйственные растения, снижают качество и количество урожая. Засоление почв – это процесс накопления в почве более 0,25% от ее массы солей, вредных для растений (хлориды, карбонаты натрия, сульфаты). Как природное, так и вторичное засоление почв в условиях орошаемого земледелия, является одним из факторов, усиливающим процесс опустынивания, являющейся одновременно причиной и следствием проблем в сельском хозяйстве [1]. Использование соли в зимний период для борьбы с гололедом на дорогах приводит к резкому увеличению ее содержания в снеговом покрове. Талый снег поступает в поверхностные воды, что ведет к значительному увеличению минерализации грунтовых и речных вод, причем такой уровень загрязнения вод уже может представлять угрозу ограничения на рост городов, в тех областях где идет их забор на промышленные и бытовые нужды. При таянии снега, соли попадают в почву. Причем они существенно влияют на почвенный раствор. Особую опасность представляет водоудерживающий слой – уплотненный суглинок, на который был насыпан искусственный плодородный слой. Основными средствами, используемыми в мире для удаления снега и льда с городских магистралей и тротуаров, являются поваренная соль (NaCl), песок и мелкий щебень [2]. К альтернативным органическим смесям, которые не обладают корродирующими свойствами NaCl, относят муравьинокислый калий (KFo), ацетат калия (KAc) и кальциево-магниевый ацетат (CMA). Применение противогололедных реагентов (ПГМ) застаивает воду в почве. Брызги соли попадают со снегом из-под колес машин на газоны и засоляют почву, в то время как аэрозоль водно-солевой смеси разносится ветром на прилегающие территории и распространяется от 30 до 200 м [3]. Попадая в почвенный раствор, катионы и анионы легкорастворимых солей начинают взаимодействовать с почвенным поглощающим комплексом, а также вступают в химические взаимодействия с ионами почвенного раствора. Хлористый натрий действует на растения, проникая через почву к корневой системе, вызывает солевой ожог, действуя на ветви и кору. Поэтому для растений засоленными называются почвы, содержащие в профиле легкорастворимые соли в количестве, токсичном для растений негалофитов [4]. Засоленные почвы относятся к солончакам, если в слое 0-30 см они содержат более 1% хлоридов (Классификация и диагностика почв России) [5]. Почвы, содержащие соли в количествах, меньших чем указанные выше, в любой части профиля называются солончаковатыми. В качестве растения – индикатора при проведенной биоиндикации использованы семена петрушки. По проросшим росткам семян судят о степени существования живых организмов в воде. Биологический метод осуществляется по величине проростков: проростки свежие, имеют свойственный запах, яркий цвет – более 90 % способности воды насыщать растения: от 30 % до 90 % - зелень более вялая, проявляется желтизна, листья быстро увядают – способность живых организмов существовать в таких условиях менее выраженная: менее 30 % - семена не проросли вообще или проросли плохо – вода не пригодна к использованию в выращивании растений.

Таким образом, в результате исследования было выявлено, что экспериментальная значимость предложенного метода достаточно велика. Это:

- Удобство отбора проб снега, что обеспечивается его избыточным содержанием в зимний период года;
- Быстрота метода, которая достигается благодаря использованию минимальных ресурсов;
- Минимизация ресурсов, приводящая к минимизации затрат;
- Нацеленность метода на получении приближенных результатов с минимальной погрешностью в определенные сроки.

Список литературы

[1] *Волобуев, В.Р.* Предупреждение и борьба с засолением почв / В.Р. Волобуев; под ред. В.П. Смирнов-Логинова. - Баку: Издательство АзФАН, 1941. - 31 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=103707>

[2] *Маршалкович А.С.* Экология городской среды [Электронный ресурс]: курс лекций / А.С. Маршалкович, М.И. Афонина. – Электрон. текстовые данные. – М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. – 319 с. – 978-5-7264-1269-6. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46051.html>

[3] Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты / *В.Ф. Вальков, Т.В. Денисова, К.Ш. Казеев и др.*; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», Биолого-почвенный факультет; отв. ред. В.Ф. Вальков. - 2-е изд. - Ростов: Издательство Южного федерального университета, 2010. - 416 с. - ISBN 978-5-9275-0399-5; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=241076>

[4] *Артемов А.В.* Сравнительный анализ антропогенного загрязнения снежного покрова и гидросферы урбанизированных ландшафтов. //Экология человека – 2003 г. - № 4. – с. 35

[5] Классификация и диагностика почв России. Смоленск: *Ойкумена*, 2004. 343 с.

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

Васюков Александр Евгеньевич – канд. хим. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alex.vasyukov@gmail.com

Чудакова Татьяна Андреевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tanya.chud@ya.ru

Шмакова Оксана Алексеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alex1z2z3z@mail.ru

Цымбалюк Мария Владимировна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alex1z2z3z@mail.ru

М.С. Горбачева, Ю.М. Жукова

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ В ПРОЦЕССЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛИГОНА МУП «ПОЛИГОН ТКО» Г. КАЛУГИ

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

Полигон по захоронению промышленных отходов является природоохранным сооружением и предназначен для централизованного сбора, складирования и длительного хранения отходов бытового производства.

Важными характеристиками при оценке выбросов в атмосферу на полигоне ТКО являются: морфологический состав, плотность и влажность отходов, количественный анализ по химическому составу, особое влияние оказывают климатические условия.

В данной работе проведена оценка воздействия на атмосферный воздух при функционировании и закрытии полигона МУП «Полигон ТКО» г. Калуги.

Начальный период (около года) процесс разложения отходов носит характер их окисления, происходящего в верхних слоях отходов, за счет кислорода воздуха, содержащегося в пустотах и проникающего из атмосферы. Спустя год со времени закладки по мере естественного и механического уплотнения отходов и изолирования их грунтом усиливаются анаэробные процессы с образованием биогаза, являющегося конечным продуктом биотермического анаэробного распада органических составляющих отходов под воздействием микрофлоры. Биогаз через толщу отходов и изолирующих слоев грунта выделяется в атмосферу, загрязняя ее [1,2].

В настоящее время различают пять фаз процесса распада органической составляющей твердых отходов на полигонах:

- 1 - аэробное разложение;
- 2 - анаэробное разложение без выделения метана (кислое брожение);
- 3 - анаэробное разложение с непостоянным выделением метана (смешанное брожение);
- 4 - анаэробное разложение с постоянным выделением метана;
- 5 - затухание анаэробных процессов [3,4].

Состав биогаза может насчитывать до 50 компонентов: алканы, циклоалканы, алкены, ароматические и галогенированные углеводороды, спирты, простые и сложные эфиры, органические решетки и др., включая очень опасные фракции, такие как диоксин и др.

В ходе обработки данных были проанализированы данные по количественному химическому составу [5,6].

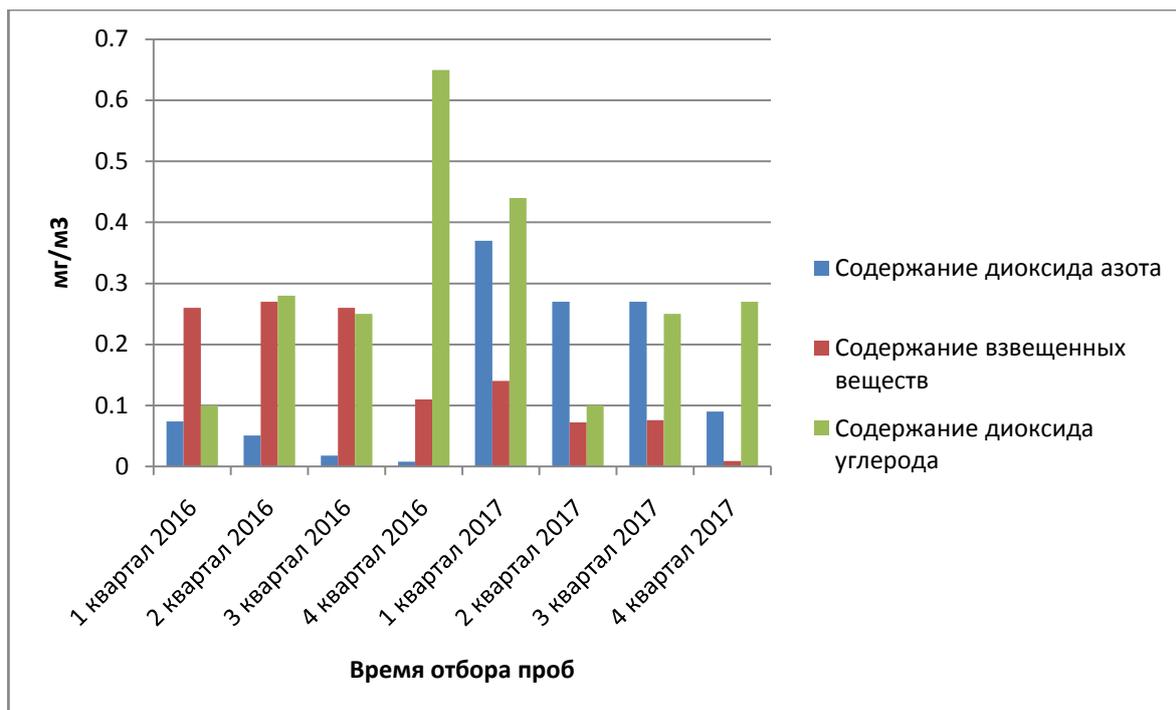


Рис. 1. Количественный химический состав

По данным, приведенным на графике (рис. 1), видно, что в 4 квартале 2016 года и в первом квартале 2017 года был зафиксирован высокий показатель диоксида углерода.

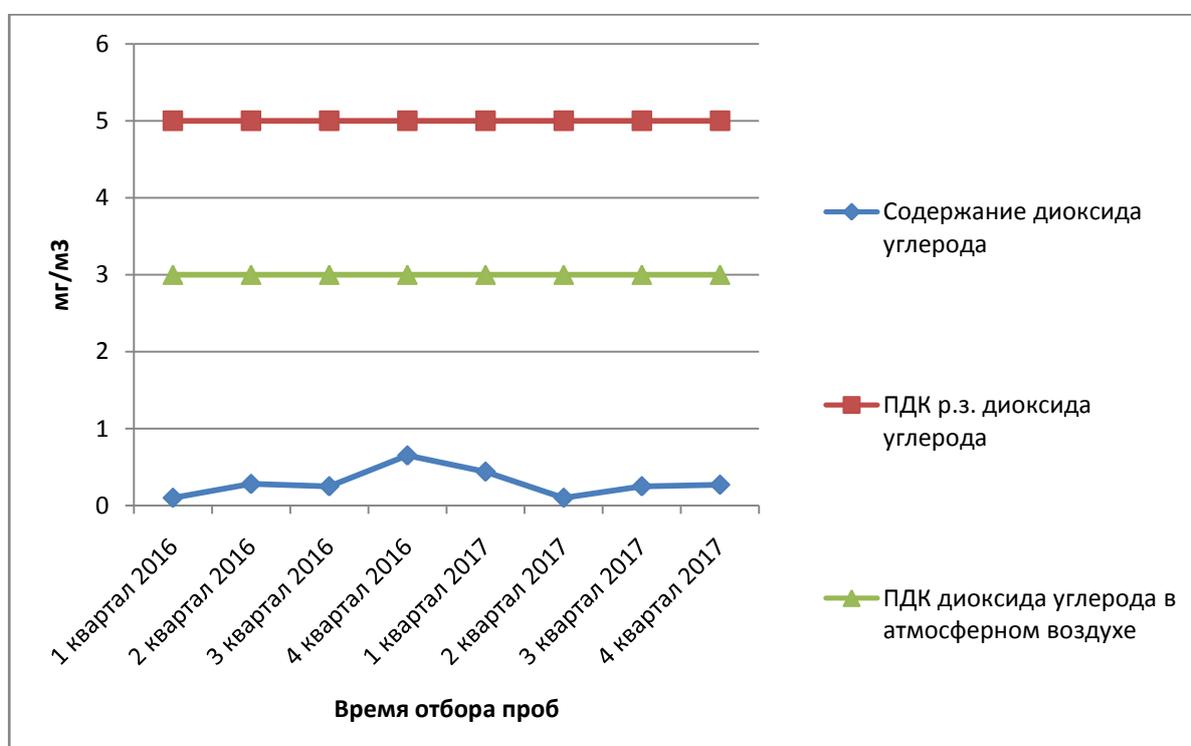


Рис. 2. Содержание диоксида углерода

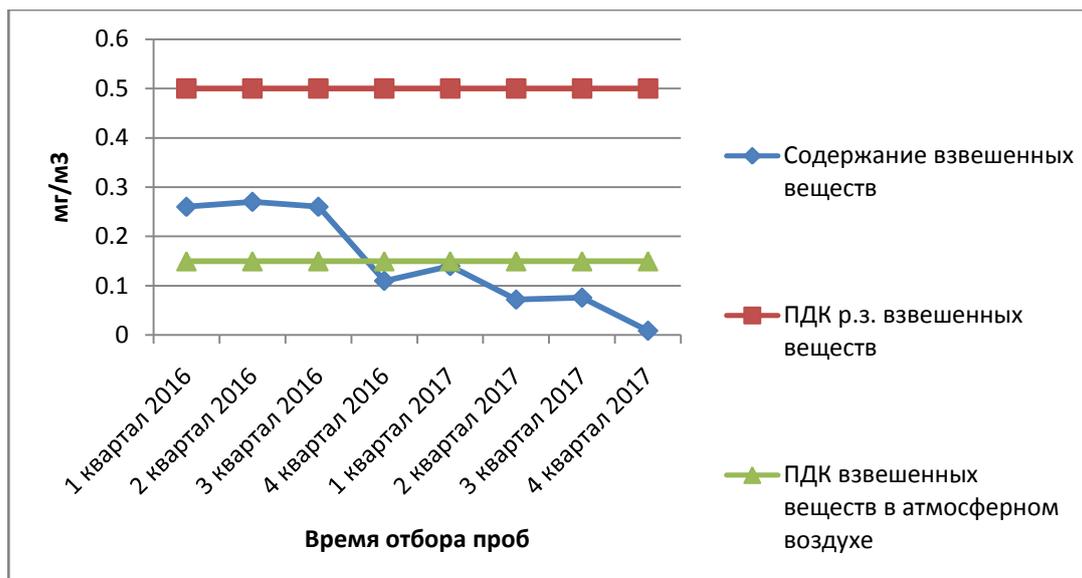


Рис. 3. Содержание взвешенных веществ

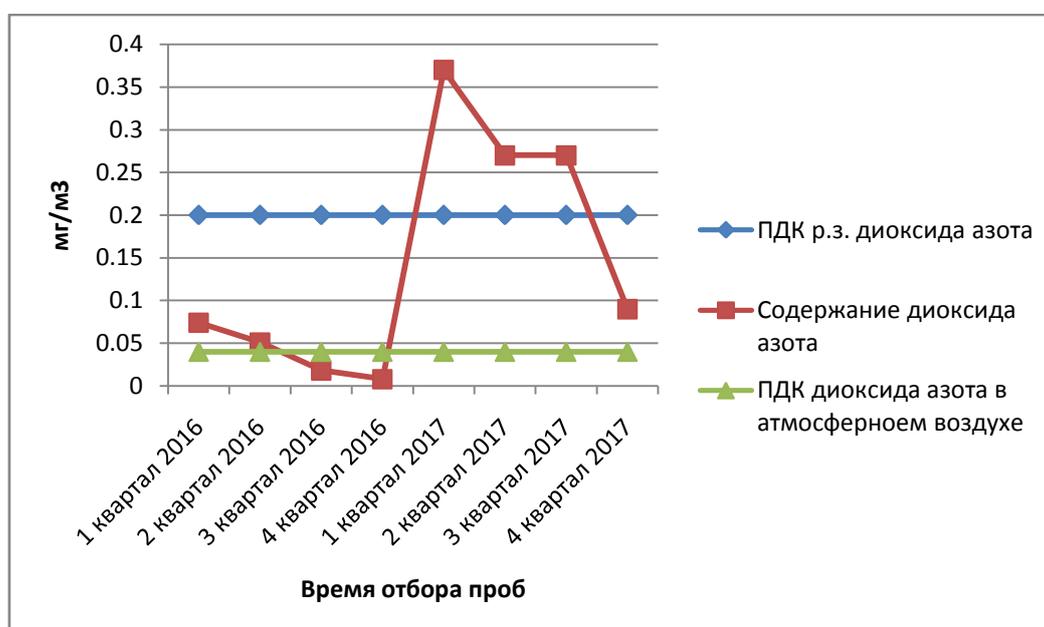


Рис. 4. Содержание диоксида азота

Анализ, представленных данных, показывает, что содержание диоксида углерода и взвешенных веществ за 2016 и 2017 года не превышают ПДК р.з.

Показатели концентрации по диоксиду азота в теле полигона в 2017 году превысило ПДК р.з. в среднем на $0,1 \text{ мг/м}^3$. Также концентрации содержания диоксида азота в 2016 года превышают значения ПДК атмосферного воздуха.

Так же был проведен отбор проб по содержанию метана за 3 и 4 квартал 2016 года и 1, 2 и 3 квартал 2017 года. Данные по содержанию метана в атмосферном воздухе на склонах перекрытия и на теле полигона представлены на диаграмме (рис. 5).

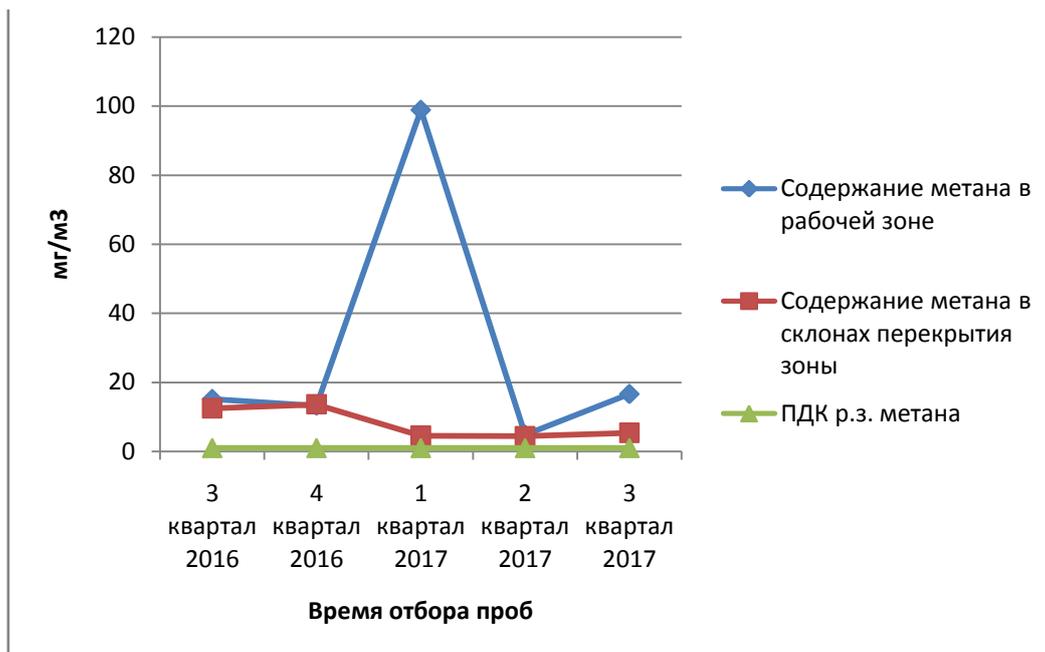


Рис. 5. Содержание метана

По данным видно, что содержание метана в рабочей зоне и на склонах перекрытой зоны тела полигона превышает ПДК р.з. Так же зафиксирован большой скачок показателя метана на теле полигона в первом квартале 2017 года, который составил 98,9 мг/м³.

Список литературы

[1] СП 2.1.7.1038-01. Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов. М.: ФЦ ГСЭН МЗ РФ, 2011.

[2] Луконина О.А., Булгаков Е.С., Старцев О.И. Влияние полигонов твердых бытовых и промышленных отходов на состояние окружающей среды в Московском регионе. Изв. вузов. Геология и разведка, 2012. № 4. - С.126-133.

[3] Капустин О.С. Управление отходами производства и потребления в г. Волгограде. // Современные проблемы утилизации отходов. Мат. конф. Волгоград, 2007. С. 7-12.

[4] Грибанова Л.П., Бабак В.В., Зайцев А.С. и др. Оценка влияния полигонов складирования твердых бытовых и промышленных отходов на геологическую среду // Инженерная геология, 2013. № 4. - С. 68-73.

[5] Протокол лабораторных работ испытаний. Результаты исследования проб воздуха, отобранных в районе полигона ТКО (д. Ждамирово), представленных МУП «Полигон ТКО» г. Калуга.

[6] ГН 2.1.6.3201-14 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест».

Горбачева Марина Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: marina_gorbachev@list.ru

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

Г.В. Лаврентьева, В.Е. Иванова, О.А. Падалка

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В Г. КАЛУГЕ

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

Атмосферный воздух является жизненно важным компонентом окружающей среды. Загрязнение атмосферного воздуха относится к наиболее значимым факторам среды обитания, оказывающим влияние на здоровье человека [1].

На формирование качества атмосферного воздуха влияют различные факторы, в том числе степень индустриализации, наличие сетей магистралей с интенсивным транспортным движением, а также географическое положение и климатические особенности.

Предполагается, что наибольший вклад в загрязнение и неблагоприятное изменение окружающей среды в г. Калуге вносит автомобильно-дорожный комплекс [2]. Особенность его в том, что ни автомобиль, ни дорогу нельзя изолировать от мест обитания людей и чем больше плотность населения, тем выше потребность в автомобильном транспорте. При этом наблюдающаяся массовость и постоянно растущие темпы процесса автомобилизации приводят к несоответствию существующих в городе категорий дорог и улиц, в результате чего город начинают испытывать повышенную транспортную нагрузку при невозможности их расширения [3].

Автомобильные выхлопы не только обедняют воздух кислородом, но и загрязняют его вредными компонентами отработавших газов.

Целью данной работы является статистический анализ динамики изменения загрязнения атмосферного воздуха в г. Калуга за 2013 – 2017 года.

Для анализа выбрано 22 точки, находящиеся на разных улицах города, по которым проводился ежемесячный экологический мониторинг в период с 2013 по 2017 гг. включительно. Экологический мониторинг ведется по трем показателям: диоксид азота (NO_2), оксид углерода (CO) и взвешенные вещества (ВВ).

Концентрация оксида углерода не превышает среднесуточную предельно-допустимую концентрацию ($\text{ПДК}_{\text{СС}} = 3 \text{ мг/м}^3$) ни в одной из точек города, поэтому при дальнейшем анализе оксид углерода не учитывался [4].

Экспериментальные данные для анализа предоставлены ООО фирмой «Экоаналитика», г. Калуга (таблица 1).

Расчеты средних концентраций и статистическая обработка данных выполнялась в MS Excel.

Таблица 1

Название улицы	Средние концентрации загрязняющих веществ									
	Средняя концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, мг/м ³									
	2013		2014		2015		2016		2017	
	NO ₂	ВВ*	NO ₂	ВВ						
Телевизионная, 2А	0,050	0,220	0,040	0,160	0,030	0,180	0,040	0,160	0,050	0,110
Поселковая	0,060	0,230	0,060	0,180	0,150	0,190	0,060	0,110	0,070	0,120
пер. Малинники, 17	0,020	0,220	0,020	0,350	0,010	0,110	0,010	0,450	0,060	0,310
Гр. шоссе, 122	0,120	0,280	0,130	0,290	0,120	0,250	0,045	0,025	0,090	0,220
Дубрава, 12А	0,034	0,100	0,039	0,180	0,026	0,100	0,037	0,050	0,040	0,110
Никитина, 100	0,050	0,160	0,045	0,120	0,037	0,120	0,044	0,154	0,042	0,090
Пушкина, 17	0,032	0,200	0,042	0,290	0,038	0,330	0,030	0,160	0,031	0,310
Генерала Попова, 7	0,050	0,140	0,068	0,310	0,059	0,310	0,035	0,120	0,032	0,080
Ленина, 1	0,049	0,219	0,035	0,206	0,029	0,217	0,064	0,287	0,050	0,124
В. Андриановой, 66	0,061	0,300	0,061	0,270	0,055	0,240	0,055	0,280	0,030	0,110
Черновская, 20	0,078	0,135	0,069	0,124	0,028	0,152	0,034	0,248	0,032	0,045
Болдина, 24	0,170	0,090	0,190	0,100	0,200	0,100	0,180	0,080	0,200	0,080
Азаровская, 3	0,100	0,200	0,060	0,270	0,110	0,230	0,090	0,230	0,080	0,210
Гурьянова, 14	0,090	0,280	0,050	0,480	0,060	0,410	0,070	0,340	0,050	0,320
Турынинские дворики	0,066	0,030	0,049	0,300	0,043	0,290	0,048	0,230	0,118	-
Гвардейская, 15	0,072	0,020	0,056	0,340	0,033	0,170	0,037	0,130	0,033	0,020
Энергетиков	0,041	0,090	0,047	0,170	0,046	0,240	0,042	0,300	0,032	0,180
Московская, 225	0,077	0,210	0,054	0,280	0,044	0,300	0,063	0,310	0,063	0,330
Газовая, 1	0,110	0,080	0,036	0,100	0,030	0,080	0,030	0,050	0,020	0,080
п. Шопино	0,030	0,080	0,039	0,154	0,036	0,230	0,030	0,110	0,030	0,100
Дальняя, 1	0,120	0,285	0,120	0,194	0,120	0,175	0,110	0,155	0,120	0,170
Баррикад, 124	0,049	0,040	0,049	0,118	0,034	0,093	0,039	0,118	0,031	0,095

Четкой зависимости изменения качества атмосферного воздуха в течение 5 лет не выявлено. Однако с 2015 года количество точек, в которых нет превышения ПДК_{СС} по взвешенным веществам, начинает уверенно

увеличиваться (в 2015 г. превышения ПДК_{СС} не наблюдалось в 6 точках из 22, а в 2017 г. уже в 14 точках).

Количество точек, в которых наблюдается «умеренное загрязнение» по диоксид азоту (превышение ПДК_{СС}=0,04 мг/м³ в 1,5-2 раза) в течение 5 лет варьируется от 6 до 14. Точки, в которых «сильное загрязнение» атмосферного воздуха (превышение ПДК_{СС} в 4-5 раз) взвешенными веществами и диоксид азотом в 2017 г. отсутствуют.

Наиболее загрязненными являются центральные улицы, среди которых Ленина, Грабцевское шоссе, Московская. Транспортный поток на данных улицах от 600 до 750 автомобилей за 20 минут исследования [5].

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что в период с 2013 по 2017 гг. наблюдается уменьшение количества точек экологического мониторинга в которых наблюдается «слабое загрязнение» по диоксиду азота. Также выявлено, что в 2017 году в атмосферном воздухе отсутствовало сильное загрязнение по контролируемым веществам.

Список литературы

[1] Мазулина О.В., Полонский Я.А. Экологический мониторинг атмосферного воздуха // Инновации В Науке: Сб. Ст. По Матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Сибак, 2012. – С. 19-25.

[2] Ляпкало А.А., Дементьев А.А., Цурган А.М. Мониторинг качества атмосферного воздуха областного центра // Рос. мед.-биол. вестн. им. акад. И.П. Павлова. – 2013. №4. – С. 83-89.

[3] Германова Т.В., Керножитская А.Ф. К вопросу загрязнения атмосферного воздуха города Тюмени автомобильным транспортом // Вектор науки ТГУ. – 2013. №2 (24). – С. 23-28.

[4] Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: ГН 2.1.6.695-98. – 34 с.

[5] ООО фирма «Экоаналитика». Атмосферный воздух Калуги и пути его улучшения // Информационный обзор. Состояние и охрана окружающей среды в Калуге. – Калуга. – ООО фирма «Экоаналитика». – 2017. – С. 6-9.

Лаврентьева Галина Владимировна – канд. биол. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Lavrentyeva.G@ya.ru

Иванова Вероника Евгеньевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zajtseva.vero@yandex.ru

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

А.А. Боганова, М.И. Морозенко

ПОЛУЧЕНИЕ СИНТЕЗ-ГАЗА

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

Обеспеченность энергоресурсами и нефтехимическим сырьем считается обязательным условием эффективного развития экономики любого государства. Главными источниками природного органического сырья служат природный газ, нефть, уголь, горючие сланцы и биомасса. На сегодняшний день наиболее востребованными энергохимическими ресурсами считаются природный газ и нефть. В настоящее время нефть – это основной мировой энергоресурс, продукты переработки которого применяются во всех отраслях промышленности и во всех бытовых сферах жизни человека. Развитие мировой экономики приводит к постоянному росту потребления углеводородного сырья. Это приводит к тому, что существующие месторождения начинают заканчиваться, и приходится постоянно искать все новые и новые источники углеводородов, а эти залежи нефти и газа, как правило, труднодоступны [1]. В настоящее время начинается крупномасштабное производство синтетического углеводородного топлива из возобновляемой биомассы и ископаемых углей, чтобы преодолеть нехватку нефтяного сырья. Исследования авторов [2-4] позволяют полагать, что путем химической обработки углей и биомассы (в базе которой лежат ожигание, растворение, пиролиз и газификация), можно будет получить практически все основные продукты нефтехимии [5].

Целью данного обзора является рассмотрение особенностей современной технологии получения синтез-газа при переработке древесных отходов методом прямоточной газификации.

Основным фактором, ограничивающим развитие предприятий лесопромышленного комплекса, является низкая степень их технической оснащенности, что является причиной образования значительного количества древесных отходов [6]. В российском лесопромышленном комплексе древесная биомасса используется весьма неrationально. На 1 м³ вывезенной из леса древесины приходится до 500 кг отходов биомассы в виде пней, ветвей, древесной зелени, некондиционной древесины. Уникальная особенность растительной биомассы состоит в том, что это возобновляемый источник органического сырья, роль которого постоянно возрастает по мере истощения запасов ископаемых топлив [2]. Наиболее простым методом утилизации древесных отходов считается их термическая переработка посредством прямого сжигания с целью извлечения тепловой энергии. Методы конверсии древесных отходов в жидкое, либо газовое состояние с получением продуктов, востребованных химической и другими отраслями промышленности считаются наиболее трудными, однако наиболее

эффективными. Один из таких продуктов, который можно получить путем прямоточной газификации древесных отходов - это синтез-газ, широко используемый в химической промышленности [7].

Весьма актуальна проблема безотходной комплексной переработки растительной биомассы. Промышленные предприятия по химической переработке древесины сильно загрязняют окружающую среду, по этой причине существует острая необходимость усовершенствования применяемых в настоящее время технологий целлюлозно-бумажной, гидролизной, и лесохимических технологий химико-лесного комплекса [8,9]. Все более широко применяются возобновляемые источники органического сырья, древесное сырье является одним из них. В процессе фотосинтеза каждый год образовывается приблизительно 200 млрд т биомассы, ежегодный прирост древесины составляет приблизительно 12 млрд м³, что существенно превышает мировую добычу ископаемых органических топлив. В странах со значительными запасами возобновляемой древесной биомассы рационально использовать ее с целью производства моторных топлив, а также ценных кормовых и пищевых, химических продуктов [8]. Процессы получения из древесины индивидуальных органических соединений (этанола, сахаров, метанола, многоатомных спиртов, терпеноидов, фурфурола и т. д.) представляют особый интерес [10]. Уже при относительно невысоких температурах (80-100°C) древесина, в отличие от углей, подвергается разным химическим превращениям [11]. Это такие реакции, как кислотный гидролиз, нитрование, пиролиз, гидрогенолиз, ацелирование, этерификация, делигнификация, деполимеризация, металлизация, галоидирование. В принципе из древесного сырья возможно получать все те вещества, которые производят из нефти, а также уникальные биологически активные продукты. Перспективной областью применения отходов древесного сырья считается получение синтетических топлив. Необходимо выделить, что потенциальные возможности ископаемых топлив и биомассы как химического, так и энергетического и биологического сырья в настоящее время используются не в полной мере [12].

Применение предлагаемой технологии переработки отходов с использованием реактора-газификатора позволяет: утилизировать древесные отходы, более рационально использовать природные ресурсы, снизить негативное воздействие на состояние окружающей среды, получить альтернативный энергоноситель для производства тепловой и электрической энергии.

Список литературы

- [1] Дейк Л.П. // *Fundamentals of Reservoir Engineering*, 2009. – 576 с.
- [2] Кузнецов Б.Н., Кузнецова С.А., Тарабанько В.Е. // Новые методы получения химических продуктов из биомассы деревьев сибирских пород. - Ж. Рос. Хим.об-ва им. Д.И. Менделеева, 2004. - Т. XLIII. №3. - 17 с.

[3] Кузнецов Б.Н. // Катализ химических превращений угля и биомассы. - Новосибирск: Наука, 1990. - 302 с.

[4] Боголицин К.Г. // Современные тенденции в химии и химической технологии растительного сырья. - Ж. Рос. Хим.об-ва им. Д.И. Менделеева, 2004. - Т. XLIII. № 6.- С. 105-123.

[5] Ковалёв В.Е., Гусев А.Л., Шалимов Ю.Н. // Альтернативная энергетика и экология, 2010. – № 6 (86). - С. 20-25.

[6] Жемулин С.Б. // Проблемы развития предприятий лесозаготовительной промышленности и ключевые направления их решения. – Российское предпринимательство, 2011. - №10 (1). – С. 119-124

[7] Боганова А.А., Морозенко М.И., Сравнительный анализ методов получения синтез-газа при утилизации древесных отходов // Всероссийская научно-техническая конференция, 2017, с. 46-51

[8] Кузнецов Б.Н. Катализ химических превращений угля и биомассы. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1990. - 302 с.

[9] Best D.J., Jones J. // Biotechnology: Principles and applications, 1988. - 480 с.

[10] Морозов Е.Ф. Производство фурфурола: вопросы катализа и новые виды катализаторов. - М.: Лесная промышленность, 1988. - 198 с.

[11] Кузнецов Б.Н. // Каталитическая химия растительной биомассы. – Соросовский образовательный журнал, 1996. - №12. – С. 47-55

[12] Кузнецова С.А. // Получение химических продуктов из древесной биомассы с применением катализаторов и активирующих воздействий. – Красноярск, 2005. – 356 с.

Боганова Анастасия Алексеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: boganowa.anastasya@yandex.ru

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

М.А. Рогожина, А.Е. Васюков

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСТОЯНСТВА МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА РОДНИКОВЫХ ВОД

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

Родниковые воды в старые времена являлись основным источником питьевой воды. С развитием технологий водоподготовки они уступили пальму первенства в конкуренции с водопроводной водой, качество которой в настоящее время не всегда заслуженно подвергается критике со стороны производителей бутилированных вод. На фоне «водных» войн за потребителя родники остаются не только резервным источником питьевого водоснабжения населения в чрезвычайных ситуациях, но и постоянно эксплуатируются.

Как показывают исследования ООО фирмы «Экоаналитика» воды из 35 родников [1, 2], основная проблема неудовлетворительного качества родниковых вод г. Калуги связана с бактериологическим загрязнением и повышенным содержанием нитратов по сравнению с требованиями нормативных документов к качеству питьевых вод. Одной из причин такого положения считается существенное влияние дождевого стока на качество подземных вод [1], что должно отражаться на качестве и количестве родниковой воды, например, на изменении ее минерального состава в течение года.

Цель работы - разработка методики оценки динамики изменения минерального состава природных вод на примере исследования минерального состава родниковых вод.

Объекты исследования. Родник 1 - бывший "Здоровец", Березуйский овраг, несколько ниже поворота ул. Комарова.

Родник 2 - площадка на пересечении улиц Садовой и Выгонной.

Метод исследования. Кондуктометрические измерения проводили с помощью кондуктометра - анализатора жидкости лабораторного серии Анион 4100 модель А4155 (К-А4155). Проверку работоспособности измерительных каналов проводили согласно руководству по эксплуатации К-А4155 [3] в ходе выполнения текущих определений сличения и анализа результатов измерений удельной электрической проводимости (УЭП) дистиллированной воды и стандартных растворов КСl.

Методика кондуктометрического определения коэффициента идентификации ($K_{ид}$) исследуемой воды принята в соответствии с прописью патента [4]:

- отбирают аликвоту исследуемой воды и измеряют УЭП (χ , мкСм/см) исходного раствора с учетом температурного коэффициента.
- проводят разведения (титрование) исходного раствора в m раз, где $m = (1 \div 2)$ (например, в 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2 раз) исходного раствора и измеряют УЭП исходного и разбавленных растворов.
- строят зависимость в координатах «степень разбавления - обратная УЭП раствора».

– рассчитывают тангенс угла наклона полученной зависимости. получают коэффициент идентификации ($K_{ид}$) исследуемой воды.

По своему физическому смыслу $K_{ид}$ отражает сумму зависимостей УЭП главных катионов и анионов от степени разбавления и имеет строго определенное значение для данного минерального состава водного раствора. Так как зависимость УЭП каждого катиона и аниона от степени разбавления отражает их химические свойства, то любое изменение концентрации или соотношения в растворе концентраций катиона и аниона приведет к изменению значения $K_{ид}$. Если увеличение УЭП водных растворов связано с увеличением минерализации этого раствора [5], то при этом не известна динамика значения $K_{ид}$, что и придает актуальность исследования рассматриваемого вопроса.

Исследования проводили с периодичностью один месяц с октября 2017 года по март 2018 года. На рис. 1. и рис. 2 представлена динамика УЭП и $K_{ид}$ родниковых вод в исследованный период, соответственно.

Статистическая обработка полученных результатов указывает на изменение минерального состава исследованных вод по сравнению с родниковой воды при первом отборе 06.10.2017: отмечается рост УЭП и уменьшение значения $K_{ид}$.

При этом в воде из родника 1 (родника 2) УЭП возрастает на 2-4 % (10-14%), в то время $K_{ид}$, как уменьшается на 7 % (11-16 %) (таблица 1). Из полученных результатов можно предварительно сделать выводы, что минеральный состав воды в роднике 2 в исследованный период претерпевает существенные изменения по сравнению с минеральным составом воды из родника 1. Такие изменения наиболее четко регистрируются с помощью расчета $K_{ид}$.

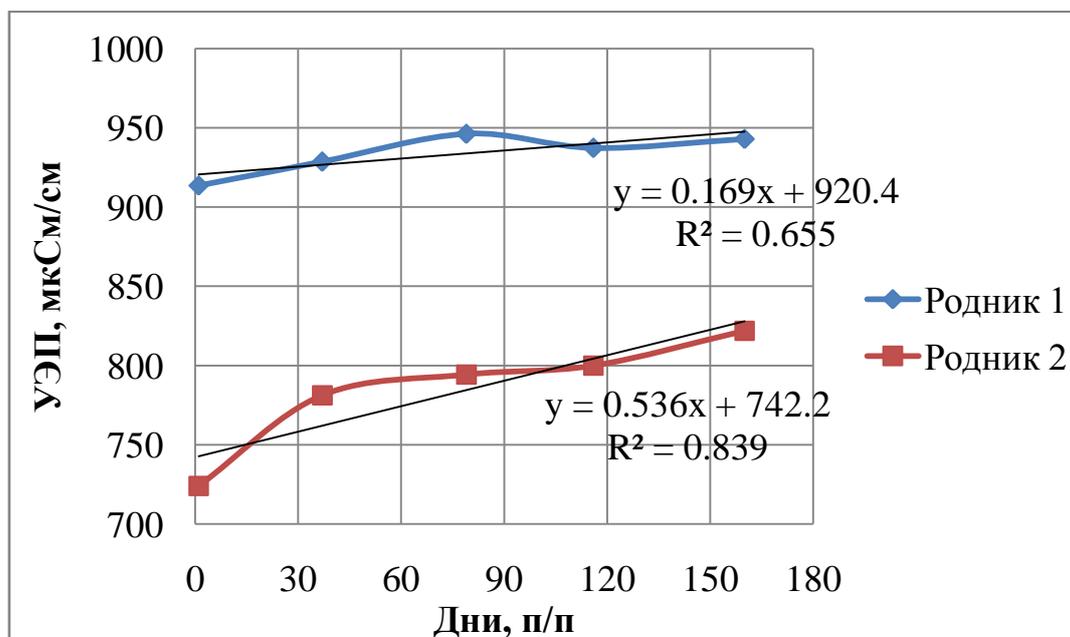


Рис. 1. Изменение УЭП исследованных родниковых вод в период с октября 2017 года по февраль 2018 года

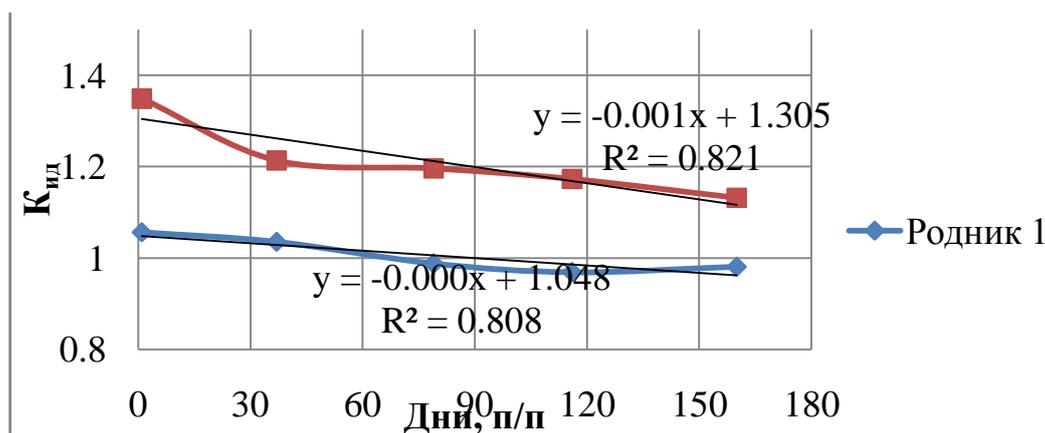


Рис. 2. Изменение $K_{нд}$ исследованных родниковых вод в период с октября 2017 года по февраль 2018 года

Таблица 1

Изменение УЭП и $K_{нд}$ исследованных вод относительно значений УЭП и $K_{нд}$ родниковой воды при первом отборе 06.10.2017 по 03.03.2018

Дата отбора	УЭП, %		$K_{нд}$, %	
	Родник 1	Родник 2	Родник 1	Родник 2
06.10.2017	100,0	100,0	100,0	100,0
12.11.2017	101,6	107,9	98,0	90,0
24.12.2017	103,6	109,7	93,5	88,7
30.01.2018	102,6	110,5	91,7	87,0
03.03.2018	103,2	113,5	92,9	83,9

Список литературы

[1] Лыков И.Н., Падалка О.А. Анализ качества воды в родниках городской и пригородной зон г. Калуги // Состояние и охрана окружающей среды в Калуге: сборник материалов. – Калуга: Изд-во ООО фирма «Экоаналитика», 2016. – С. 14-16.

[2] Исследование качества воды в родниках и прудах МО «Город Калуга» // Состояние и охрана окружающей среды в Калуге: сборник материалов. – Калуга: Изд-во ООО фирма «Экоаналитика», 2017. – С. 15-17.

[3] Анализаторы жидкости лабораторные серии Анион 4100. Руководство по эксплуатации ИНФА.421522.002. РЭ. Научно-производственное предприятие ООО НПП «Инфраспак-Аналит». Новосибирск, 2011. – 70 с.

[4] Пат. 103096 Україна МПК G 01 N 27/00, G 01 N 15/00, G 01 N 33/18 Спосіб ідентифікації водного розчину середньої та високої мінералізації/ Васиуков О.Є., Андронов В.А., Лобойченко В.М., Дрозд А.В., Шекера С.Ю.; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № а 201200566; заявл. 18.01.2012; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17.

[5] Воробьев Н.И. Применение измерения электропроводности для характеристики химического состава природных вод [Текст] / АН СССР. Гос. ком. СМ РСФСР по координации НИР. Гидрохим. ин-т. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. - 144 с.

Рогожина Марина Александровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: marinarogozhina1994@yandex.ru

Васиуков Александр Евгеньевич – д-р хим. наук, профессор кафедры "Промышленная экология" КФ МГТУ имени Н.Э. Баумана. E-mail: alex.vasyukov@gmail.com

О.В. Кузнецова, С.Ю. Стрельникова, О.В. Яковлева,
А.А. Хролынцев

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НЕТКАНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

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

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что параметры технологического оборудования и режимов его работы по изготовлению фильтрующих элементов из нетканого волокнистого полимерного материала оказывают существенное влияние на качество фильтрующих элементов, что свидетельствует о необходимости изучения данных характеристик.

Целью данной работы является исследование методики изготовления и эксплуатационных характеристик фильтроэлементов.

Перед выполнением работы были поставлены следующие задачи:

- изучить существующие методы изготовления нетканых волокнистых полимерных материалов;
- исследовать характеристики нетканых волокнистых материалов.

Исследование показало, что в настоящее время наибольшее распространение получили две технологии производства нетканых фильтрующих материалов: «spunbond» (*от англ. spin – скрученный и bond – связь*) и «melt-blown» (*от англ. melt – плавиться, плавка и blown – выдувной*).

Материал, полученный по технологии «spunbond», в зависимости от плотности имеет широкий спектр потребления: от использования в производстве изделий медицинского и санитарно-гигиенического назначения до применения в качестве фильтровальных материалов. В качестве сырья при производстве нетканых материалов по технологии «спанбонд» используются волокнообразующие полимеры с широким молекулярно-массовым распределением, такие как полипропилен (ПП), полиэтилентерефталат (ПЭТФ), полиамид (ПА) и другие.

Наиболее востребованной технологией производства фильтрующих элементов из волокнистых материалов является технология «melt-blown», которая подразумевает формирование волокон путем раздува расплавленного полимера горячим воздухом и их осаждение непосредственно на приемную поверхность вращающегося каркаса. Для проведения процесса используется экструдер [1].

На рис. 1 изображена принципиальная схема установки для производства фильтрующих элементов.

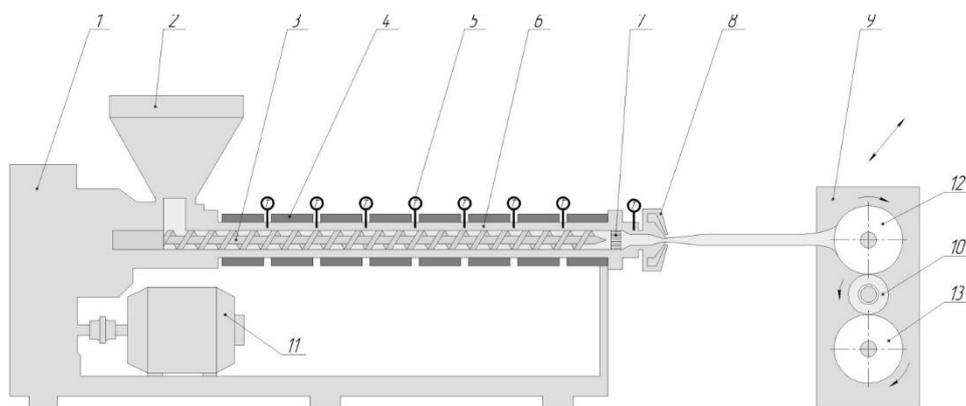


Рис. 1. Принципиальная схема установки для производства фильтрующих элементов:

- 1-рама экструдера; 2-загрузочный бункер; 3-шнек; 4-электронагреватель;
 5-датчик температуры; 6-гильза; 7-фильтр расплава; 8-раздувочная головка;
 9-намоточное устройство; 10-фильтрующий элемент; 11-привод шнека;
 12-ролик приемный; 13-ролик прижимной

Параметры технологического оборудования и режимы его работы оказывают существенное влияние на качество фильтрующих элементов и, следовательно, необходимо изучение их влияния на качество изделия с целью получения фильтрующих элементов с оптимальными характеристиками [2].

Среди множества параметров, от которых зависят характеристики получаемых фильтроэлементов особо нужно выделить эффективность работы и грязеемкость. Отдельного изучения требует процесс возможности регенерации данных фильтров, который в настоящее время считается не оптимальным и не проводится.

Рассмотрим, как в настоящее время проводится оценка эффективности работы и грязеемкости фильтрующих элементов.

Одной из самых важных характеристик является эффективность фильтрующего элемента. Большинство производителей используют стандартные общепринятые промышленные методики для оценки эффективности фильтрующих элементов в идеальных лабораторных условиях.

На рис. 2 представлены типовые характеристики эффективности для фильтрующих элементов из нетканого волокнистого материала.

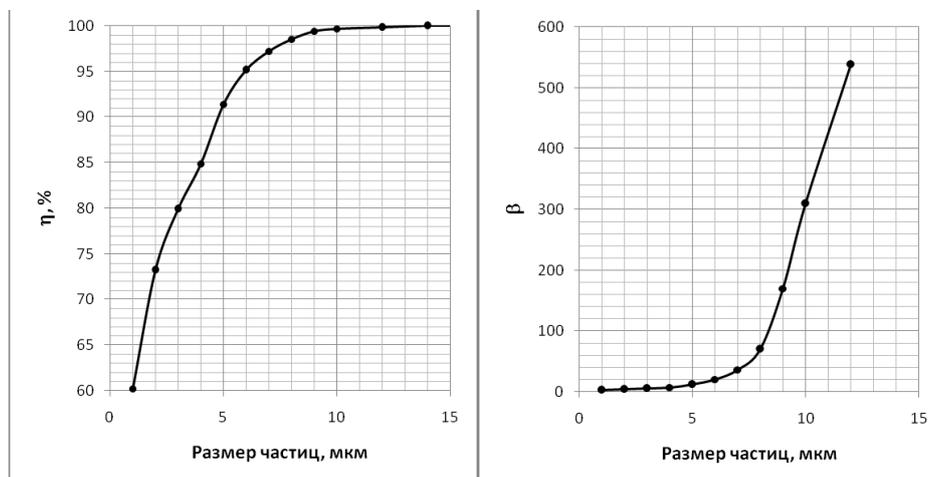


Рис. 2. Характеристики эффективности фильтрующих элементов

Другой очень важной характеристикой, которая позволяет оценить ресурс фильтрующего элемента, является характеристика грязеемкости, которая представляет собой зависимость перепада давлений на фильтрующем элементе от массы загрязнителя, введенного в поток жидкости перед фильтрующим элементом, при номинальном расходе жидкости и заданном значении вязкости.

На рис. 3 представлена типовая характеристика грязеемкости для фильтрующих элементов из нетканого волокнистого материала.

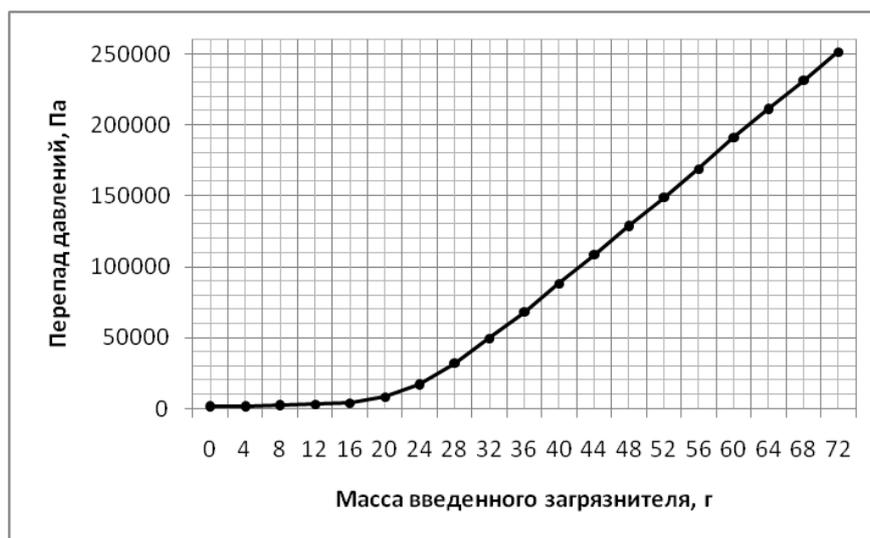


Рис. 3. Характеристики грязеемкости фильтрующих элементов

Следует отметить, что характеристика грязеемкости не позволяет определить фактическую грязеемкость, поскольку фильтрующий элемент удерживает не все частицы загрязнителя. Данную характеристику удобно использовать для сравнительных испытаний фильтрующих элементов одного типа, а также для оценки ресурса фильтрующего элемента при известных параметрах загрязненности жидкости [2].

В процессе эксплуатации фильтрующие элементы могут существенно изменять свои характеристики под воздействием накапливающихся в них загрязнений, при изменении режима фильтрации и других факторов.

Недостаточно исследован вопрос о возможности регенерации фильтрующих элементов данного типа. Эти и ряд других вопросов требуют проведения исследовательских работ.

Проведение исследований в предлагаемом направлении позволят оптимизировать параметры оборудования и технологического процесса производства фильтрующих элементов, существенно улучшить их эксплуатационные характеристики, а также получить ряд практических рекомендаций в данной области, которые могут быть использованы для повышения стабильности параметров и качества выпускаемой продукции.

Список литературы

[1] *Бершев Е.Н.* Технология производства нетканых материалов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 2014. – 273 с.

[2] *Требин Г.Ф.* Фильтрация жидкостей и газов в пористых средах: Учебное пособие. – М.: Изд-во Государственное научно – техническое издательство нефтяной и горно – топливной литературы, 2013. – 161 с.

Кузнецова Ольга Владимировна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kuznetsova.olya2018@yandex.ru

Стрельникова Светлана Юрьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sweto4ka.krasnoshyokova@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

Хролынцев Антон Александрович – ведущий инженер-конструктор АО "Фильтр". E-mail: anton@ftov.ru

СЕКЦИЯ 7.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И КОМПЛЕКСАХ

А.И. Пономарев, Д.В. Стрункин

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЭВАКУАТОРОВ

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

Эвакуатор – специальное транспортное средство, предназначенное для буксировки или погрузки (полной или частичной) с последующей перевозкой автомобиля, чьё техническое состояние не позволяет самостоятельно добраться до сервиса. В иных случаях для перевозки негабаритных грузов, сельскохозяйственной и дорожной техники, водного и воздушного транспорта.

Основными способами эвакуации транспортных средств являются [1]:

- Метод буксировки на жёсткой или гибкой сцепке
- Метод частичной погрузки на грузовой платформе, специальным эвакуационным тягачом, на подкатной тележке или специальном буксирном прицепе
- Метод полной погрузки на грузовой платформе автомобиля, прицепа или полуприцепа, специальным эвакуатором-автомобилевозом, на специальных прицепах или полуприцепах-тяжеловозах

На основе данных методов можно выделить следующие основные типы эвакуаторов:

- С лебёдкой и ломаной платформой с аппарелями
- С лебёдкой и сдвижной платформой
- С гидроманипулятором и прямой или ломаной платформой
- С гидроманипулятором и сдвижной платформой с лебёдкой
- Грузовые с частичной погрузкой
- Двухэтажные эвакуаторы

Автомобильные эвакуаторы работают в непостоянных условиях, что обусловлено работой в трёх режимах: погрузка; перевозка (буксировка) автомобилей, дорожной и сельскохозяйственной техники; перемещение без груза.

В первом случае, если имеет место использование крана-манипулятора (крано-манипуляторной установки – КМУ), возникает необходимость обеспечения дополнительной устойчивости вследствие смещения центра тяжести от оси симметрии эвакуатора в сторону рабочей зоны крана. Для этого на эвакуаторах, оснащённых КМУ, используются специальные выдвигающиеся опорные гидроцилиндры, препятствующие опрокидыванию. Их использование необходимо, но приводит к усложнению конструкции и увеличению её веса. Также имеет место неравномерный износ опорно-поворотных подшипников, их заклинивание, выкрашивание зубчатого венца при неправильной эксплуатации и в результате неравномерного использования области поворота КМУ. При использовании лебёточного оборудования необходимо обеспечить расположение эвакуируемого транспортного средства, при котором не будет создано помех для его

погрузки или выгрузки. Платформа в этом случае должна иметь выдвижные аппарели (в случае с ломаной платформой) или быть сдвижной, а также её каркас должен иметь специальное крепление для установки лебёдки. Опять же, конструкция платформы должна обеспечивать сохранность груза при транспортировке и на стоянке при различных погодных условиях. Электрические лебёдки являются мощными потребителями электроэнергии, ввиду чего их использование по возможности должно проходить при включенном двигателе и выключенных дополнительных электроприборах. Для работы гидравлической лебёдки необходима установка дополнительных агрегатов: гидронасоса и коробки отбора мощности. Использование лебёдочного оборудования приводит к увеличению расхода топлива.

При перевозке транспортных средств на платформе с полной погрузкой шасси воспринимает как их вес, так и собственный, в связи с чем для данного вида техники появляется необходимость использования усиленных рам и подвесок, также шин с повышенной грузоподъёмностью, которые, помимо прочего, должны иметь увеличенное количество слоёв корда, так как работают в более жёстких условиях трения [2]. Вдобавок при этом центр тяжести эвакуатора смещается, удаляясь от поверхности дороги, что сказывается на устойчивости. Кроме того, в некоторых случаях возрастает площадь лобовой проекции, приводя к увеличению силы сопротивления воздуха, и, соответственно, повышенному расходу топлива. При работе эвакуаторов с частичной погрузкой грузовых автомобилей, особенно имеющих большую массу, происходит смещение центра тяжести в сторону прицепного устройства, что приводит к увеличению нагрузки на заднюю ось (тележку) и разгрузке передней оси. Это может ухудшить управляемость эвакуатора и привести к дорожно-транспортному происшествию.

Перемещение без эвакуируемой техники снижает нагрузку на агрегаты и несущую систему эвакуатора, но с экономической точки зрения неэффективно, так как при этом не выполняется полезная работа.

Предлагается выделить следующие направления повышения эффективности эксплуатации данного вида техники: специализация в зависимости от вида эвакуируемой техники и объёмов выполняемых работ, повышение эффективности технического обслуживания и ремонта, организация работ в соответствии с дорожными и климатическими условиями, повышение надёжности эвакуаторов и их агрегатов.

Список литературы

[1] *Тарасенко П.Н.* Эвакуаторы поврежденных автомобилей – Минск: БНТУ, 2012. – 127 с.

[2] Электронный ресурс: www.summertires.ru

Пономарев Алексей Иванович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: apon2005@yandex.ru

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

В.Н. Сидоров, А.А. Паршукова

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ КОМФОРТНОСТИ И ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ АВТОМОБИЛЯ ЛАДА КАЛИНА

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

Одно из главных преимуществ российских машин состоит в том, что они рассчитаны на российские дороги, которые отнюдь не отличаются высоким качеством покрытия. Кроме того, сервис или тюнинг такого автомобиля не составят проблем ввиду достаточного количества необходимых комплектующих на рынке. Отсюда следует целесообразность модернизации данного автомобиля, направленная на увеличение комфортности и полезной нагрузки.

Эксплуатация как легковых, так и грузовых автомобилей в сложных дорожных условиях – не редкость. Кроме того, довольно часто приходится нагружать автомобиль, а именно его заднюю часть, настолько, что жесткости стандартных пружин не хватает для безопасной эксплуатации. В этом случае сложно избежать дополнительной нагрузки на подвеску, однако можно постараться свести ее к минимальной, установив на автомобиль активную пневматическую подвеску.

Активная пневматическая подвеска предназначена для обеспечения автоматического регулирования характеристик подвески автомобиля в условиях движения по различным типам дорожного полотна и с различной загруженностью с целью обеспечения устойчивости и комфортности [1].

Цель достигается за счет того, что предлагаемая система считывает скорость движения каждого колеса и автомобиля в целом с датчиков АБС, на основании данных, полученных с датчиков, блок управления посылает сигналы на блок управления пневмоподвеской. Блок автоматически корректирует степень жесткости элементов и уровень положения кузова, но также возможно и ручное управление, например, когда степень загруженности багажника автомобиля будет известна заранее.

Система пневматической подвески является наиболее выгодной и высокотехнологичной. Она обеспечивает безопасность движения автомобиля на различных типах дорожного полотна и в различных климатических условиях [1]. Данная подвеска позволяет повысить комфорт передвижения, что существенно сказывается на степени усталости водителя и пассажира и, соответственно, повышает безопасность движения.

Основные элементы пневмоподвески представлены на рис. 1. Далее, для визуального восприятия также была построена 3d-модель пневматической подвески (рис. 2).

Пневмоподвеска имеет два режима работы: основной режим, то есть движение автомобиля по дорогам общего пользования; второй режим дви-

жения - движение по бездорожью [2]. В основном режиме подвеска корректирует положение кузова автомобиля относительно дорожного покрытия в зависимости от скорости движения. В режиме движения по бездорожью воздух нагнетается в пневмобаллоны и уровень кузова поднимается до максимального значения 215 мм.

Задачей является создание доступного способа модернизации подвески для безопасной эксплуатации грузового автомобиля как в хороших, так и в плохих дорожных условиях. Пневмобаллоны будут устанавливаться только на заднюю подвеску, но регулироваться они будут отдельно друг от друга. То есть, внедрена так называемая двухконтурная система.

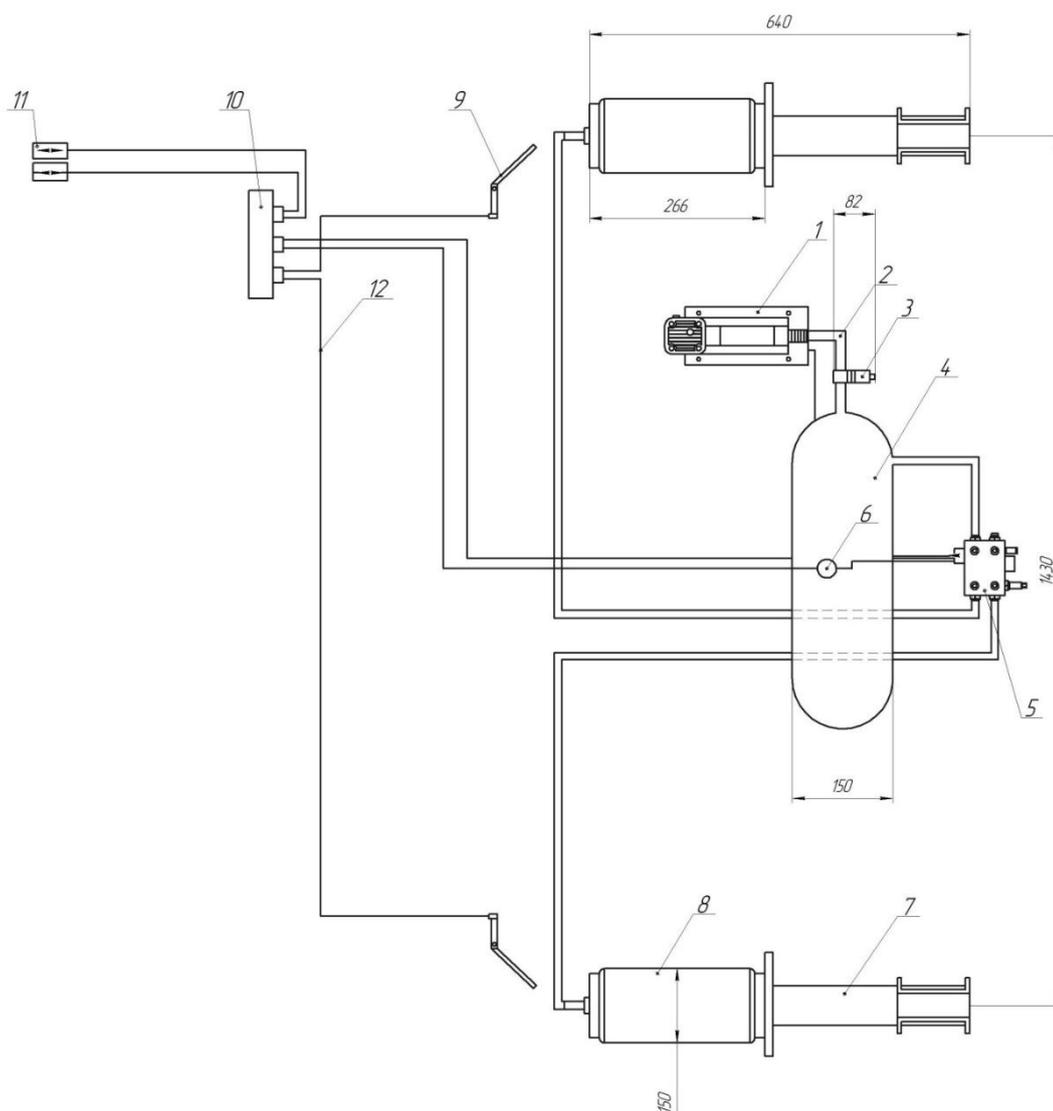


Рис. 1. Схема устройства задней пневмоподвески для автомобиля Лада Калина

- 1 - Компрессор; 2 - Шланг высокого давления; 3 - Влагуловитель;
- 4 - Ресивер; 5 - Блок клапанов; 6 - Датчик давления; 7 - Амортизационная стойка задняя;
- 8 - Пневмоподушка задняя; 9 - Датчик положения кузова;
- 10 - Блок управления подвеской; 11 - Кнопка управления положением кузова;
- 12 - Проводка

3d-модель задней двухконтурной пневматической подвески представлена на рисунке 2.

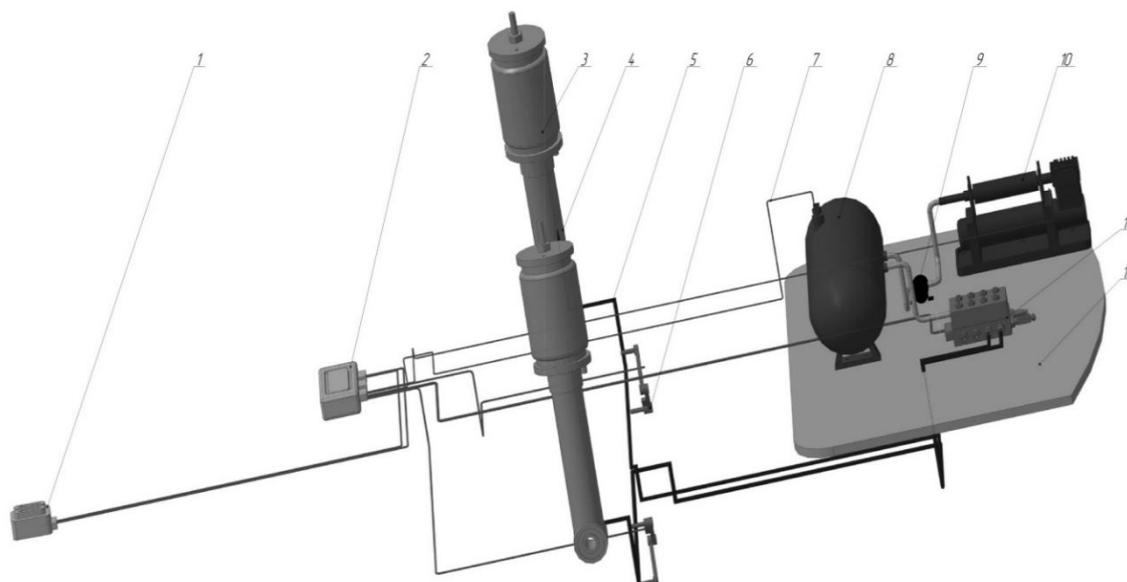


Рис. 2. 3d-модель задней пневмоподвески

- 1- Кнопка управления положением кузова; 2 - Блок управления;
3 - Пневмоподушка; 4 - Амортизационная стойка; 5 - Шланг высокого давления;
6 - Датчик положения кузова; 7 - Проводка; 8 - Ресивер;
9 - Влагуловитель; 10 - Компрессор; 11 - Блок клапанов

Таким образом, пневмоподвеска повышает безопасность и водителя, и пассажиров, позволяет сделать передвижение на груженом автомобиле более комфортабельным, в том числе и в сложных дорожных условиях. Пневмоподвеска позволяет автомобилю адаптироваться к различным условиям движения.

Список литературы

[1] *Как работает автомобиль. Как работает пневмоподвеска.* [Электронный ресурс] URL: <http://howcarworks.ru/вопрос/как-работает-пневмоподвеска> (дата обращения 27.03.2018).

[2] *Промагро - РТИ. Подбор пневмоподвески.* [Электронный ресурс] URL: <http://pa-rti.ru/podbor-pnevmoduschki> (дата обращения 27.03.2018).

Сидоров Владимир Николаевич – д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Автомобиле- и тракторостроение» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sidorov-kaluga@yandex.ru

Паршукова Алёна Александровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alenparshukova@yandex.ru

В.Н. Сидоров, С.В. Подлесных

К ВОПРОСУ ОБ УЛУЧШЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБИЛЯ LADA VESTA НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНСМИССИИ

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. Однако, в современном мире очень важную роль играет именно взаимодействие силовой установки и трансмиссии, т. к. от этого напрямую зависят эксплуатационные характеристики.

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.

Самым перспективным решением данных проблем 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].

Для автомобиля Lada Priora наиболее оптимальным вариантом является передача вращательного движения на задние колеса. Такая силовая установка называется параллельной (рис.1).

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.

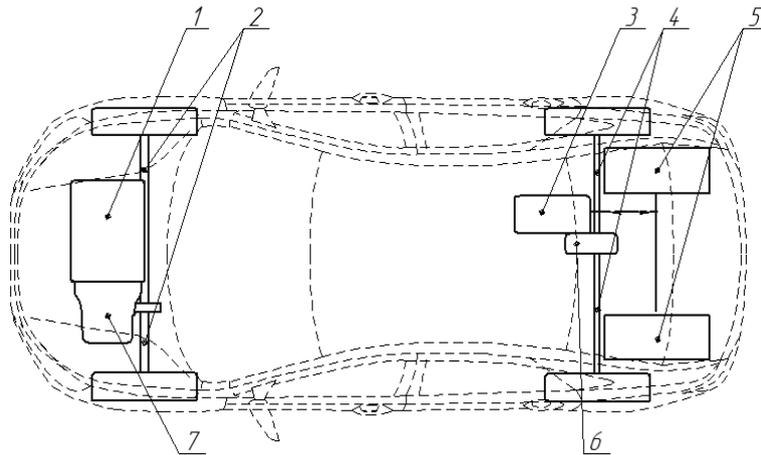


Рис. 1. Схема параллельной гибридной силовой установки
 1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – привода передних колес; 3 – тяговый электродвигатель; 4 – привода задних колес; 5 – аккумуляторные батареи; 6 – дифференциал задней оси; 7 – коробка переключения передач

Общий вид заднего моста в сборе с электродвигателем представлен на рис. 2.

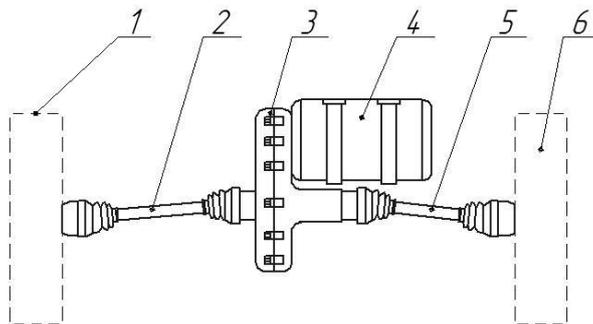


Рис. 2. Общий вид заднего моста в сборе с электродвигателем
 1 – заднее левое колесо; 2 – привод заднего левого колеса; 3 – главная передача в сборе с дифференциалом; 4 – тяговый электродвигатель; 5 – привод заднего правого колеса; 6 – заднее правое колесо

Режим движения при помощи только электродвигателя предназначен для движения в городском трафике на малых скоростях т.к при частом трогании с места расход топлива увеличивается. Такой режим подходит для движения в пробках. Однако, при обычном движении, когда используется бензиновый двигатель, на эффективность передачи крутящего момента влияет коробка переключения передач.

Автомобили семейства Lada Vesta имеют два варианта исполнения коробки переключения передач (КПП): механическая и роботизированная с обычным сухим сцеплением. Оба этих типа имеют схожий принцип прерывания мощностного потока и переключения передач. В обоих типах сцепление выключается с помощью вилки выключения сцепления и выжимного подшипника, а передачи переключаются с помощью вилки переключения и муфт с синхронизаторами.

Несмотря на то, что механическая КПП имеет много преимуществ, таких как низкая стоимость и простота конструкции, она имеет и недостатки. Основными из них является сложность управления и необходимость выключения сцепления при переключении передач. Применение роботизированных КПП, где переключение осуществляется с помощью актуаторов, получающих сигнал с блока управления, решило проблему управления, но вместе с тем увеличило время переключения передач. Для его минимизации предлагается использовать двойное сцепление.

Принцип действия коробки передач с двойным сцеплением заключается в переключении передач с помощью роботизированного привода переключения, управляемого с помощью электронного блока управления, без потери потока мощности от силовой установки. На обычных КПП потеря мощности возникает из-за размыкания дисков сцепления и разрыва связи двигатель - трансмиссия. За счет такой особенности двойного сцепления, как одновременная работа двух дисков, удастся избежать разрыва мощностного потока и снизить время переключения передач [3].

Рассматриваемый тип КПП предлагается использовать на автомобилях Lada Vesta, модернизировав их штатную роботизированную коробку передач. Модернизированная КПП изображена на рисунке 3.

В процессе модернизации без изменений остаются корпус КПП 1, вторичный вал 6, дифференциальная группа (шестерня привода, сателлит, обойма и ведомая шестерня главной передачи) и передаточное отношение шестерней. Основными же изменениями являются добавление двух первичных валов (для четных 9 и нечетных 4 передач), роботизированного механизма переключения передач, кронштейнов крепления актуаторов, датчиков частоты вращения валов, органов управления в салоне, а также изменение расположения шестерен на валах.

Крутящий момент, получаемый от двигателя, передается на коробку передач через сцепление. В данном случае можно выделить три режима передачи крутящего момента:

- включена нечетная передача, весь момент идет на вал нечетных передач 4 через ведомый диск сцепления 18;
- включена четная передача (или задняя), весь момент идет на вал четных передач 9 через ведомый диск сцепления 26;
- переключение передач, когда момент частично идет на оба вала.

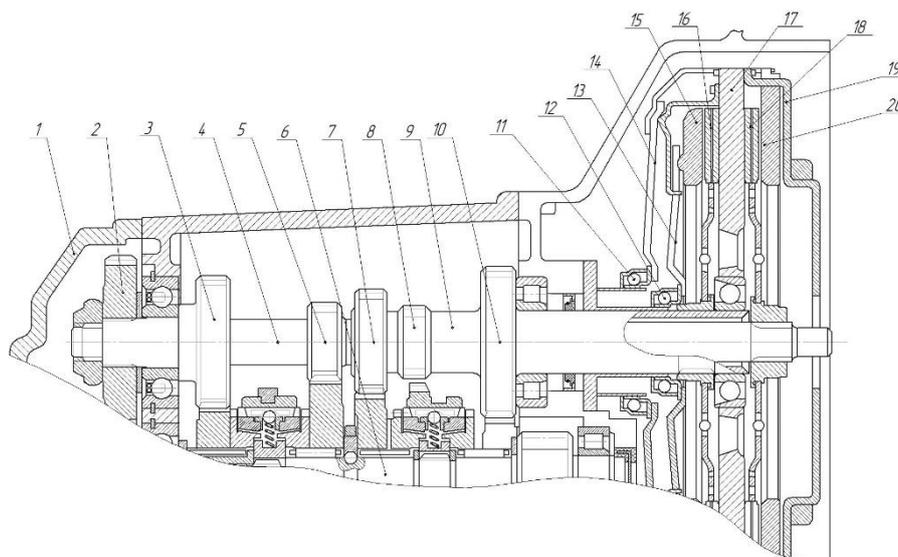


Рис. 3. Модернизированная КПП с двойным сцеплением

- 1 – корпус КПП; 2 – шестерня V передачи; 3 – шестерня III передачи; 4 – первичный вал нечетных передач; 5 – шестерня I передачи; 6 – вторичный вал; 7 – шестерня II передачи; 8 – шестерня задней передачи; 9 – первичный вал четных передач; 10 – шестерня IV передачи; 11 – выжимной подшипник для сцепления нечетных передач; 12 – выжимной подшипник для сцепления четных передач; 13 – диафрагменная пружина четных передач; 14 – диафрагменная пружина нечетных передач; 15 – нажимной диск четных передач; 16 – ведомый диск четных передач; 17 – ведущий диск; 18 – ведомый диск нечетных передач; 19 – несущее кольцо; 20 – нажимной диск нечетных передач

Список литературы

[1] *Круглов, С.М. Все о легковом автомобиле* / С.М. Круглов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. – 232 с.

[2] *Auto-wiki. Гибридная силовая установка* [Электронный ресурс]: <http://auto-wiki.ru/gibridnaya-silovaya-ustanovka/> (дата обращения 19.03.2018).

[3] «*За рулем.рф*». [Электронный ресурс]: http://www.zr.ru/content/articles/320753/korobki_peredach_s_dvuma_sceplenijami_na_podkhvate/ (дата обращения 15.03.2018).

Сидоров Владимир Николаевич – д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Автомобиле- и тракторостроение» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sidorov-kaluga@yandex.ru

Подлесных Сергей Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: podlesnykh40@yandex.ru

Д.В. Стрункин, А.И. Пономарев

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОУСИЛИТЕЛЯ РУЛЯ

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

Рулевые механизмы современных автомобилей разделяют на червячные, винтовые и шестерённые. К шестерённым рулевым механизмам относятся механизмы с шестернями, а также реечные рулевые механизмы. В последних передаточная пара выполнена в виде шестерни и зубчатой рейки. Вращение шестерни, закрепленной на рулевом валу, вызывает перемещение рейки, которая выполняет роль поперечной тяги. Реечные рулевые механизмы получают широкое применение на легковых автомобилях [2].

Рулевым усилителем называется механизм, создающий под давлением жидкости или сжатого воздуха дополнительное усилие на рулевой привод, необходимое для поворота управляемых колес автомобиля.

Усилитель служит для облегчения управления автомобилем, повышения его маневренности и безопасности движения. Он также смягчает толчки и удары дорожных неровностей, передаваемых от управляемых колес на рулевое колесо [1].

Схема работы рулевого управления с гидроусилителем руля представлена на рис.1.

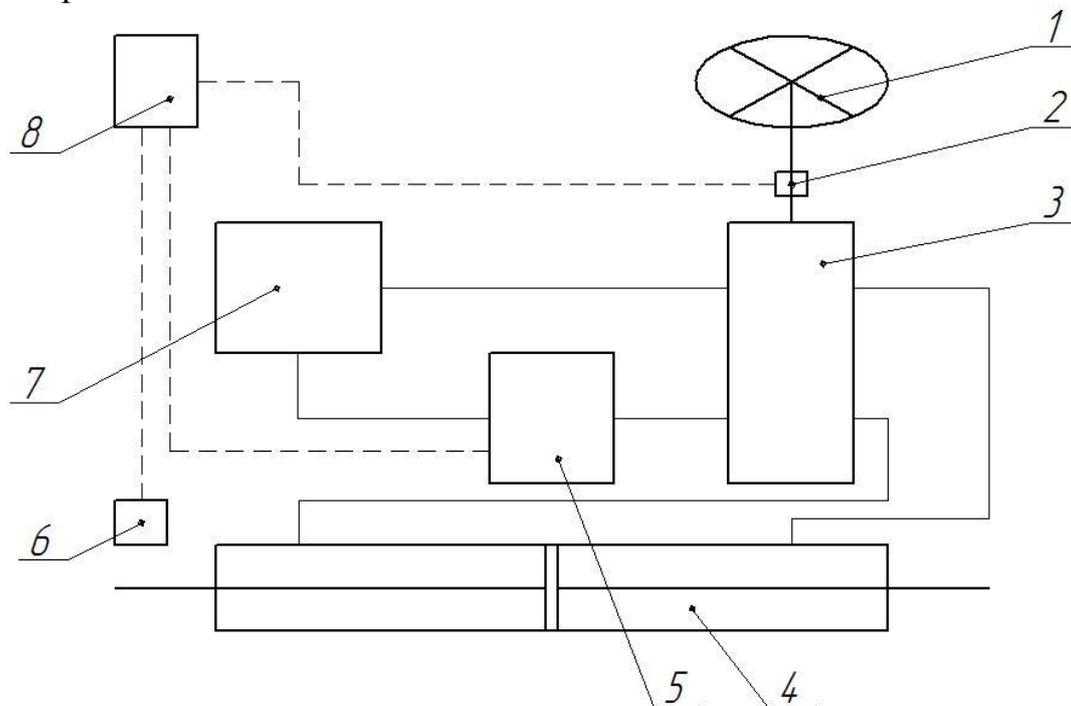


Рис. 1. Схема реечного рулевого механизма с гидроусилителем руля:

- 1 – рулевое колесо; 2 – датчик угла поворота рулевого колеса;
- 3 – распределитель; 4 – силовой цилиндр; 5 – пластинчатый насос;
- 6 – датчик скорости; 7 – бачок гидроусилителя; 8 – Электронный блок управления

Насос (5) создаёт давление в системе рулевого управления, если при этом рулевое колесо (1) находится в нейтральном положении, распределитель (3), состоящий из золотника и вала-распределителя, направляет жидкость в бачок (7). При повороте рулевого колеса проходное сечение между валом-распределителем и золотником изменяется, и поток жидкости направляется в одну из полостей силового цилиндра (4), созданное давление, сдвигающее поршень в направлении поворота рулевого колеса. Электронный блок управления (ЭБУ) (8) считывает показания датчиков угла поворота рулевого колеса (2) и скорости автомобиля (6). На основании этих данных он формирует управляющий сигнал для насоса, регулируя степень усиления.

Для составления математической модели воспользуемся подсистемой программы Matlab – Simulink. Первым этапом будет описание схемы (рис.1) с помощью уравнений [3].

При повороте управляемых колес возникает суммарный момент сопротивления повороту:

$$M_{\Sigma \max} = G_1(f \cdot a + \varphi \cdot r_K \cdot 0,14 + a \cdot \sin \beta \cdot \sin \theta - r_K \cdot \sin^2 \gamma \cdot \sin \theta) \quad (1)$$

где: G_1 – вес автомобиля, который приходится на управляемые колёса; f – коэффициент сопротивления качению; φ – коэффициент сцепления колёс с опорной поверхностью; a – плечо обкатки; r_K – радиус колеса; β, γ – углы наклона шкворня, соответственно поперечный и продольный; θ – средний угол поворота колёс.

Для поворота управляемых колес при отсутствии усилителя необходимо приложить к рулевому колесу усилие:

$$T_{\max} = \frac{M_{\Sigma \max}}{R_P \cdot U_{PY} \cdot \eta_{PY}} \quad (2)$$

где: R_P – радиус рулевого колеса; U_{PY}, η_{PY} – передаточное число и КПД рулевого управления.

При повороте рулевого колеса распределитель создает разности давлений жидкости в полостях силового цилиндра, максимальное значение которого P_{\max} . При давлении P_{\max} на штоке силового цилиндра возникает сила:

$$F_{\Pi} = P_{\max} \left(\frac{\pi D_{\Pi}^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) \quad (3)$$

где: D_{Π} – диаметр силового цилиндра; d – диаметр штока.

Отсюда диаметр силового цилиндра:

$$D_{\Pi} = \sqrt{\frac{4F_{\Pi}}{\pi P_{\max}} + d^2} \quad (4)$$

Со стороны реактивных камер распределителя будет передаваться усилие:

$$F_P = S_P \cdot P_{\max} \quad (5)$$

где: S_P – активная площадь реактивных камер.

Усилие, прикладываемое водителем к рулевому колесу, определяется по формуле:

$$T = \frac{F_P \cdot R_{III}}{U_{PM} \cdot \eta_{PM} \cdot R_P} \quad (6)$$

где: U_{PM}, η_{PM} – соответственно передаточное число и КПД рулевого механизма; R_{III} – радиус шестерни.

Условие равновесия управляемых колес под действием поворачивающих моментов и моментов сопротивления:

$$F_P \cdot L_P + F_{II} \cdot L_{II} = M_{\Sigma \max} \quad (7)$$

где L_P, L_{II} – длины соответственно левой и правой тяг.

После подстановки в формулу (8) выражений для F_P и F_{II} получим зависимость, из которой можно выразить давление:

$$P = \frac{M_{\Sigma \max}}{S_P \cdot L_P + 0,25\pi \cdot L_{II} \cdot (D_{II}^2 - d^2)} \quad (8)$$

Производительность насоса выбирают таким образом, чтобы силовой цилиндр мог поворачивать управляемые колеса быстрее, чем это может делать водитель, вращая рулевое колесо с угловой скоростью $\omega = 2\pi$ рад/с (т.е. 1 об/с). Для этого производительность насоса должна быть больше Q_{\min} :

$$Q_{\min} = \frac{\pi D_{II}^2 \cdot \omega \cdot R_{III} \cdot L_{II}}{4 \cdot U_{PM} \cdot \eta_H \cdot L_P} \quad (9)$$

где: η_H – КПД насоса.

Коэффициент усиления:

$$K = \frac{T_{\max}}{T} \quad (10)$$

На основе данных уравнений была построена модель рулевого управления (рис. 2) в среде Simulink.

Исходные данные:

$\varphi = 0,8$; $f = 0,02$; $a = 0,06$ м; $\beta = 8^\circ$; $\gamma = 2,5^\circ$; $\theta = 35^\circ$; $r_K = 0,45$ м; $U_{PY} = 27$; $U_{PM} = 24$; $\eta_{PY} = 0,75$; $\eta_{PM} = 0,8$; $L_P = 0,17$ м; $L_{II} = 0,17$ м; $R_P = 0,275$ м; $L_C = 0,15$ м; $P_{\max} = 10^6$ Па; $d = 0,025$ м; $\eta_H = 0,8$; $F_{II} = 15008$ Н;

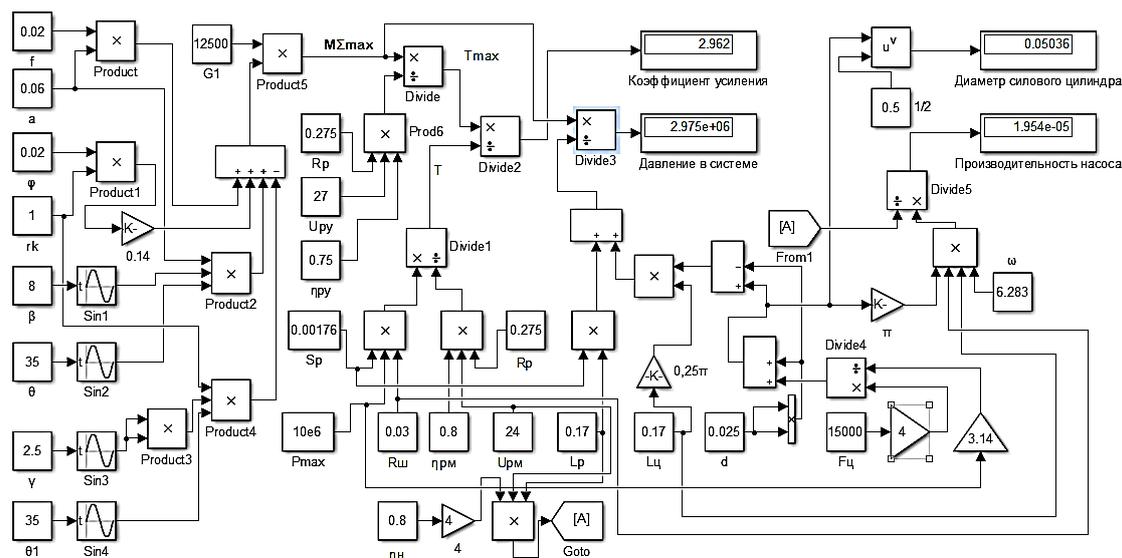


Рис. 2. Математическая модель для определения параметров гидроусилителя рулевого управления

Таким образом, построенная математическая модель позволяет определить основные параметры гидроусилителя рулевого управления, для представленных исходных данных они составили: требуемый коэффициент усиления $K = 2,962$; диаметр силового цилиндра $D_{Ц} = 50,36 \text{ мм}$; минимальная производительность насоса $Q_{\min} = 1,954 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; минимальное давление в системе $P = 2,975 \text{ МПа}$. Что адекватно реальным параметрам гидроусилителей, устанавливаемых на автомобили.

Список литературы

- [1] Вахламов В.К. Автомобили. Конструкция и элементы расчёта. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 480 с.
- [2] Вишняков Н.Н. Автомобиль: Основы конструкции – М.: Машиностроение, 1986. – 304 с.
- [3] Зайцев А. В. Расчёт основных параметров гидроусилителя рулевого управления автомобиля. – Курган: Издательство Курганского государственного университета, 2010. – 10 с.

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

Пономарев Алексей Иванович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: apon2005@yandex.ru

С.А. Селькин, А.И. Пономарев

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМОБИЛЯ VOLKSWAGEN GOLF 7 ПУТЕМ УСТАНОВКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДРУЛИВАНИЯ ЗАДНИХ КОЛЕС

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

Системы поворота задних колес (4 WS - Four Wheel Steering) автомобилей были созданы еще в конце 20 века и продолжают развиваться по настоящее время. Подобные системы получили распространение в основном на автомобилях премиум-класса. Впервые данная система управления задними колесами появилась в 1987 году на автомобиле Honda Prelude, затем ее начали устанавливать и на других японских марках автомобилей: Mitsubishi Galant и Sigma, Mazda 626, Toyota Celica, Nissan Skyline. На первых этапах 4 WS имела механическую систему привода поворота колес, но вскоре на смену механическому пришел гидравлический, а затем и электропривод.

Установка системы подруливания задних колес на автомобиле преследует несколько целей: увеличение чувствительности автомобиля к повороту рулевого колеса; повышение маневренности при парковке, развороте, обгоне и перестроении; увеличение курсовой устойчивости при высоких скоростях.

На сегодняшний день для поворота задних колес используется реечный механизм с электроприводом (рис. 1).

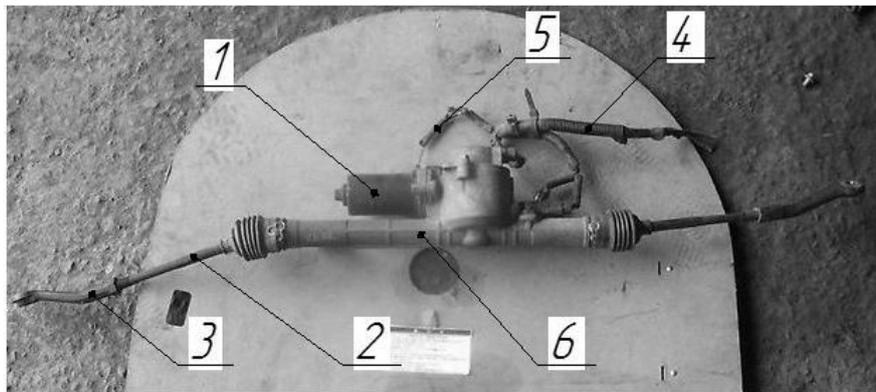


Рис. 1. Задний реечный механизм с электроприводом:
1 - электродвигатель; 2 - рулевая тяга; 3 - рулевой наконечник; 4 - разъем питания электродвигателя; 5 - разъем для датчика; 6 - картер реечного механизма

Данная система включает в себя датчик угла поворота рулевого колеса, датчик скорости автомобиля, электронный блок управления (ЭБУ), задние датчики угла поворота рулевого колеса и реечный механизм с электроприводом (рис. 2). Принцип работы основан на обработке данных, поступающих от датчика угла поворота рулевого колеса и датчика скорости автомобиля, электронным блоком управления, который, в свою очередь, управляет поворотом задних колес при помощи рулевого механизма, оснащенного электроприво-

дом и встроенного в заднюю подвеску автомобиля. Система работает в двух режимах: при малых скоростях и высоких. Автомобиль, двигаясь по дороге, не поворачивает, а переходит в другой ряд параллельно полосам разметки, таким образом, получается движение по дуге большого радиуса и меньшей кривизны, уменьшается риск потери устойчивости курса [1].

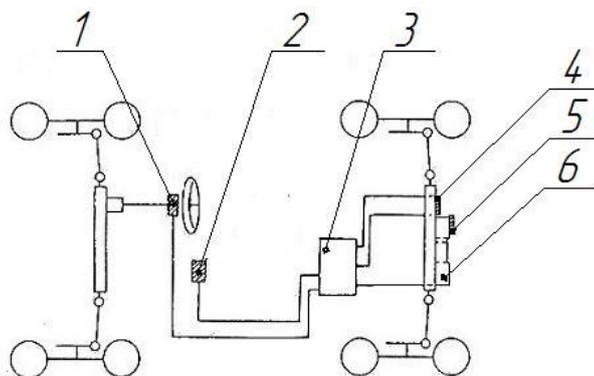


Рис. 2. Схема системы подруливания:

1-датчик угла поворота рулевого колеса; 2-датчик скорости автомобиля;
3-электронный блок управления; 4,5-датчики положения колес (основной и дополнительный); 6-электромотор

При движении на малых скоростях (до 40 км/ч) задние колёса поворачиваются в противоположную сторону передним, но если автомобиль едет с высокой скоростью (больше 40 км/ч), и при этом появляется необходимость резкого обгона, то все четыре колеса поворачиваются в одну сторону. Это обеспечивает значительное увеличение радиуса поворота, следствием чего является снижение сил инерции и лучшая курсовая устойчивость, снижается степень риска заноса. Но для того, чтобы автомобиль не был сильно чувствителен к действиям водителя, угол подруливания ограничивается 8 градусами. Если система выходит из строя, она переводится в состояние высокой скорости. То есть задние колёса подруливают в ту же сторону, что и передние [2].

С каждым годом число автомобилей на наших дорогах увеличивается небывалыми темпами, передвигаться по городу и вне его становится все труднее, не имея достаточного опыта вождения. Также немало проблем доставляет передвижение по узким дорогам, переулкам, дворам, где приходится совершать немало поворотов. От автомобиля в таких условиях требуется лучшая маневренность, курсовая устойчивость и уменьшенный радиус поворота. Для каждого автовладельца важно чувствовать уверенность, находясь за рулем своего автомобиля, при совершении обгона, перестроения, поворотов и парковке. Одним из решений данных проблем и является система подруливания задних колес.

На дорогах нашего региона растет число автомобилей марки Volkswagen. Для установки данной системы, к примеру, на Volkswagen Golf 7 нужно изменить некоторые элементы ее задней многорычажной подвески (рис.3): корпус опоры колеса, верхний, передний нижний и задний нижний поперечные рычаги, крепление амортизатора.

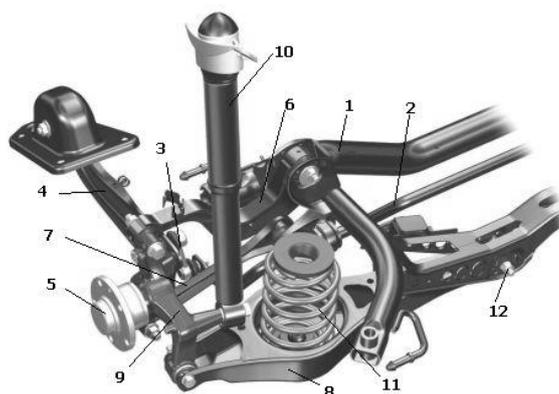


Рис. 3. Многорычажная независимая задняя подвеска Volkswagen Golf 7:
 1 - подрамник; 2 - стабилизатор поперечной устойчивости; 3 - стойка стабилизатора поперечной устойчивости; 4 - продольный рычаг; 5 - ступица колеса; 6 - верхний поперечный рычаг; 7 - передний нижний поперечный рычаг; 8 - задний нижний поперечный рычаг; 9 - корпус опоры колеса; 10 - амортизатор; 11 - винтовая пружина; 12 - узел регулировки схождения

После установки подруливающего механизма и модернизации узлов подвеска будет иметь вид, показанный на рисунке 4.

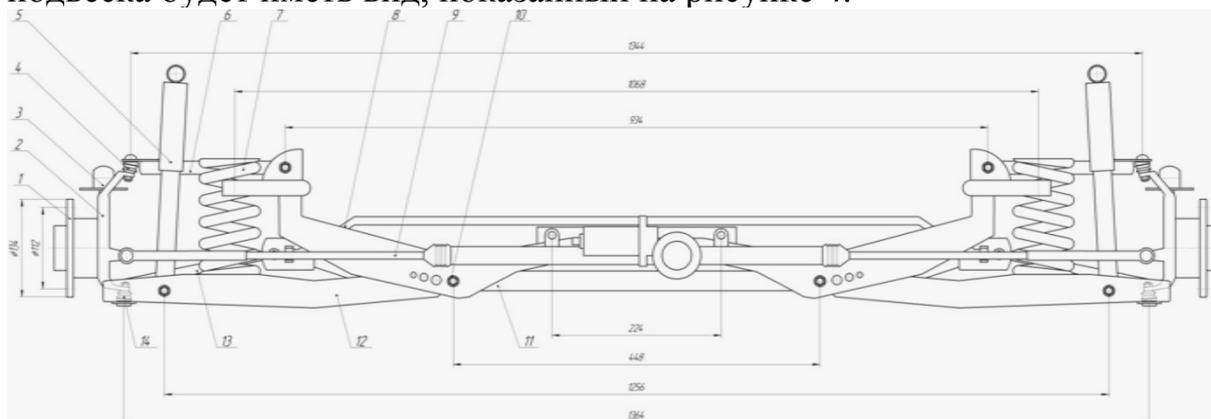


Рис. 4. Модернизированная задняя подвеска:
 1 - ступица колеса; 2 - поворотный кулак; 3 - продольный рычаг; 4 - верхняя шаровая опора; 5 - амортизатор; 6 - верхний поперечный рычаг; 7 - пружина; 8 - стабилизатор поперечной устойчивости; 9 - задний реечный механизм; 10 - узел регулировки схождения; 11 - подрамник; 12 - задний нижний поперечный рычаг; 13 - передний нижний поперечный рычаг; 14 - нижняя шаровая опора

Список литературы

[1] *Автомобили сегодня. Система 4WS (+HICAS)*. URL: <http://cars.negrov.net/articles/4ws/> (дата обращения 22.03.2017).

[2] *Система HICAS*. URL: <https://www.drive2.ru/l/808104/> (дата обращения 22.03.2017).

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

Пономарев Алексей Иванович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: apon2005@yandex.ru

А.В. Семизоров, А.И. Пономарев

ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЯ HYUNDAI ix35 ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ АКТИВНОГО ПОДРЕССОРИВАНИЯ

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

Hyundai ix35(ix35) – яркий представитель городских кроссоверов, был презентован корейским автопроизводителем на Франкфуртском автосалоне осенью 2009 года. Новинка поступила в продажу в 2010 году и успешно продаётся по сей день. Подвеска ix35 настроена так, что автомобиль устойчив в поворотах и не теряет управляемость на больших скоростях, но при движении по дорогам с изношенным дорожным покрытием подвеска жестко передает все изъяны дорожного полотна на кузов, что вызывает дискомфорт водителя и пассажиров. Автомобиль имеет клиренс 178 мм, что является недостаточным для выезда на участки мелкого бездорожья, при этом ходы подвески минимальны. При движении по участкам бездорожья подвеска жестко отрабатывает неровности, зачастую с пробоями амортизаторов, снижая их ресурс. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что основными недостатками автомобиля является жесткость подвески, непригодная к эксплуатации в условиях изношенного дорожного полотна. Поэтому требуется модернизировать подвеску с условием возможности изменения её жесткости в зависимости от скорости и условий передвижения, а также обеспечить изменение клиренса автомобиля с повышением ходов подвески, что повысит активную безопасность автомобиля. Все данные требования позволит выполнить активная система подрессоривания.

Активной подвеской называют такой тип подвески, которая автоматически изменяет свои характеристики (адаптируется) во время движения. Для успешной работы системе необходимо собрать информацию о текущих условиях движения автомобиля – этим занимаются различные датчики и сенсоры. В анализируемую информацию входят тип дорожной поверхности, положение кузова, параметры движения, стиль управления автомобилем и другие данные (зависит от разновидности адаптивного шасси).

Адаптивная подвеска обычно включает в себя следующие элементы:

- электронный блок управления подвеской;
- регулируемые стабилизаторы поперечной устойчивости;
- стойки амортизаторов с регулируемой жесткостью;
- пневмостойки (вместо пружин);
- датчики (ускорения кузова, дорожного просвета и другие).

Активный стабилизатор поперечной устойчивости меняет степень своей жесткости по сигналу от блока управления. Система активных стабилизаторов поперечной устойчивости (рис. 1) включается в работу при маневрировании автомобиля. Адаптивная подвеска использует этот компонент для уменьшения крена кузова автомобиля.

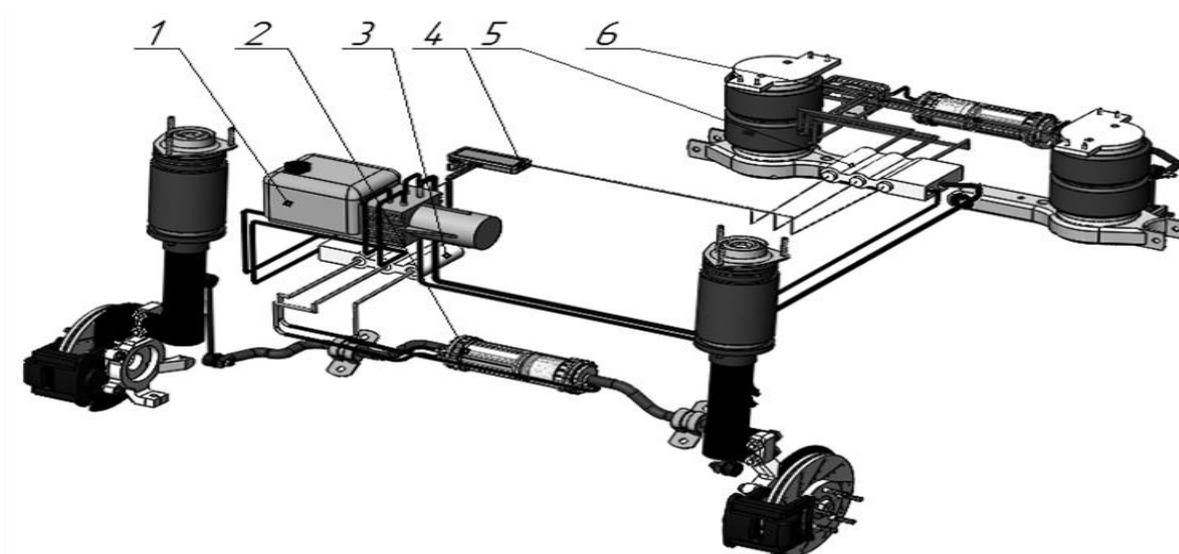


Рис. 1. Система активных стабилизаторов поперечной устойчивости

Конструктивно система включает в себя: электрогидравлический насос высокого давления с распределительным устройством (1); стабилизаторы с гидродвигателями (2, 6); клапанный блок на каждой оси (3, 5); блок управления (4), контролирующей работу системы.

Основным компонентом системы являются активные стабилизаторы с поворотными гидродвигателями (рис. 2), которые установлены вместо традиционных механических стабилизаторов на передней и задней оси.

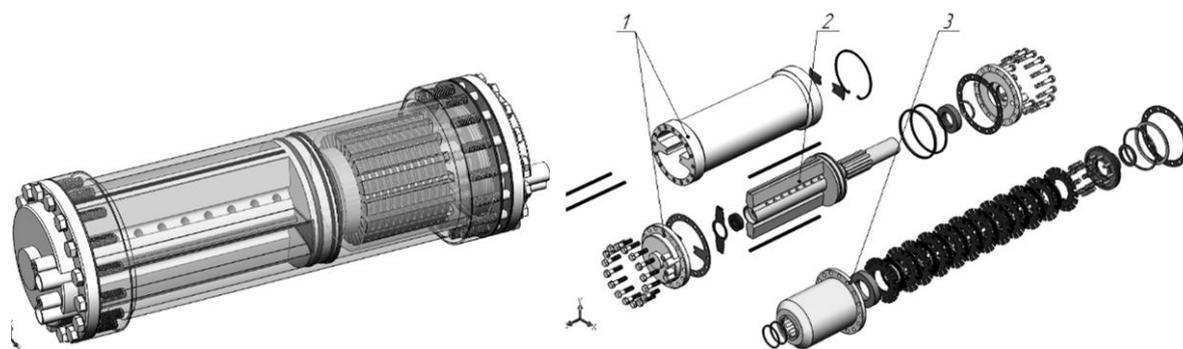


Рис. 2. Активные стабилизаторы с поворотными гидродвигателями

Корпус стабилизатора с внутренними лопастями (1) соединен с левой частью стабилизатора, а «вал – лопатка» (2) соединен с правой частью. Вал имеет сквозные отверстия для перетекания жидкости в камере. Конструкция дополнена пакетом фрикционов (3), заключенного в отдельном корпусе, он обеспечивает блокировку стабилизатора на случай аварийной ситуации, а также для дополнительной жесткости системы. Соединение вал-корпус образует две камеры (рис. 3), в которые подается жидкость, обеспечивает привод стабилизатора.

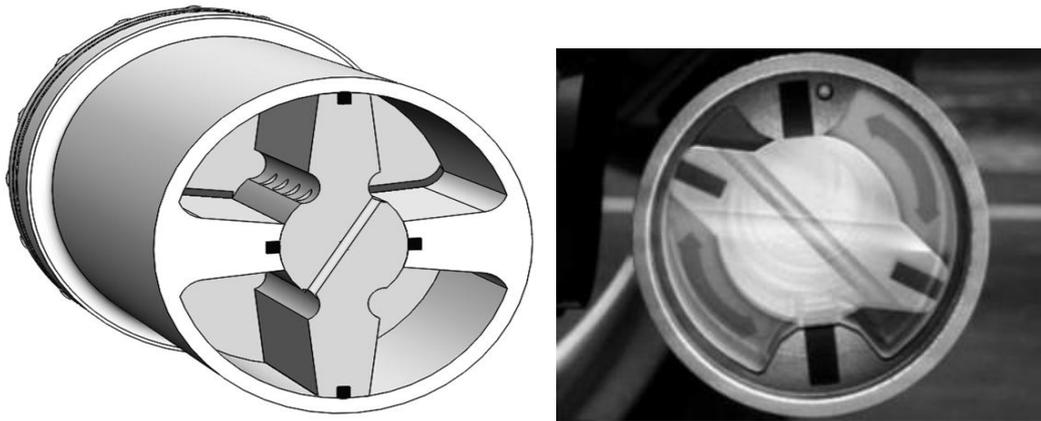


Рис. 3. Рабочие камеры активного стабилизатора

При прохождении автомобилем поворота воздействующая на его центр тяжести центробежная сила приводит к крену кузова. Кузов кренился на наружную сторону поворота. Блок управления подает импульс на насос, который в свою очередь поднимает давление жидкости в одной из камер, что приводит к скручиванию стабилизаторов. Возникающий крутящий момент противодействует крену и стабилизирует автомобиль.

Активные стойки оперативно реагирует на тип дорожного покрытия и режим движения автомобиля, изменяя степень жесткости системы подвески.

Применение пневматической подвески (рис. 4) обеспечивает снижение кренов при прохождении поворотов, а также обеспечивают изменение дорожного просвета в зависимости от типа дорожного полотна или условий эксплуатации, а также снижает центр тяжести при движении на высоких скоростях.

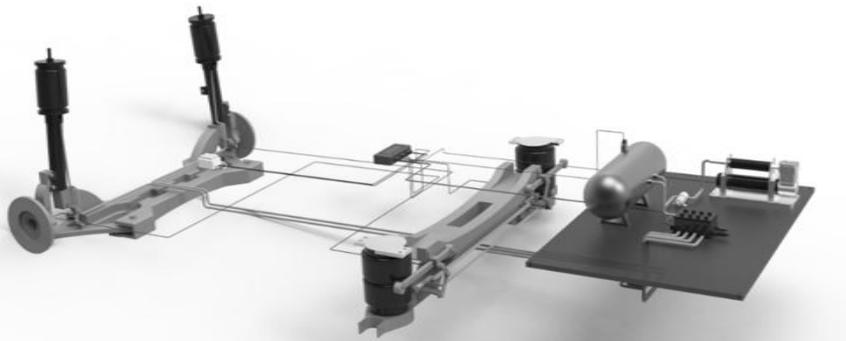


Рис. 4. Пневматическая подвеска Hyundai ix35

Разработанная пневматическая подвеска имеет два режима движения: автоматический (движение по дорожному полотну), движение по бездорожью (выбирается принудительно самим водителем). В автоматическом режиме движения автомобиль постоянно поддерживает стандартный дорожный просвет на уровне 180 мм независимо от степени загруженности, а при достижении скорости свыше 80 км/ч дорожный просвет уменьшается до 165 мм. При включении режима движения по бездорожью дорожный просвет увеличивается со 180 мм до 215мм, что значительно повышает геометрическую проходимость автомобиля.

Датчики адаптивной подвески – это устройства, предназначенные для измерения различных величин и отправки информации в электронный блок управления. Датчик ускорения кузова постоянно оценивает качество дороги и срабатывает при раскачке кузова автомобиля. Датчик положения кузова связывается с системой управления при различных маневрах автомобиля (ускорении, торможении), когда задняя часть автомобиля становится ниже передней и наоборот.

Внедрение данной системы в штатную конструкцию позволит повысить комфорт передвижения пассажиров в автомобиле, как по дорогам общего пользования, так и по мелкому бездорожью. Применение данной системы позволит кратковременно увеличивать клиренс автомобиля с целью повышения его проходимости. Главной задачей данной подвески является возможность добиться уникальных настроек в каждый момент времени для каждого колеса в отдельности. Это позволит поднять безопасность автомобиля на более высокий уровень, а также улучшить управляемость и устойчивость на разных типах дорожного полотна.

Список литературы

[1] *Вахламов В.К.* Автомобили. Конструкция и элементы расчета: учебник для высших учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. - 232 с

[2] Все про адаптивные подвески. [Электронный ресурс] URL: https://auto.mail.ru/article/54892ya_sdelayu_eto_samavse_pro_adaptivnye_podveski/ (дата обращения 15.03.2018).

[3] Системы современного автомобиля. Пневматическая подвеска [Электронный ресурс] URL: http://systemsauto.ru/pendant/air_suspension.html (дата обращения 09.03.2018).

[4] Устройство автомобиля. Отключаемые стабилизаторы поперечной устойчивости [Электронный ресурс] URL: <http://ustroistvo-avtomobilya.ru/podveska/otklyuchaemy-e-stabilizatory-poperechnoj-ustojchivosti/> (дата обращения 07.03.2018).

Семизоров Артем Витальевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: art.semizorov@yandex.ru

Пономарев Алексей Иванович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: apon2005@yandex.ru

А.В. Чекрыжов, Н.П. Кодинцев

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРАКТОРА МТЗ-3022 ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ НЕСУЩЕЙ И ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМ

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

Колесный трактор это сложное, энергетическое и подвижное техническое средство, используемое для комплексной механизации в агропромышленном комплексе (АПК), а также для внутренних перевозок сельскохозяйственных грузов. В соответствии с необходимыми требованиями, колесные тракторы должны иметь определенные эксплуатационные качества и свойства, которые оцениваются научно обоснованными измерителями-показателями.

Важнейшими эксплуатационными качествами, изучаемыми в теории трактора и представляющими собой совокупность эксплуатационных свойств, характеризующих его отдельные стороны, являются производительность, экономичность и проходимость [1].

Основными показателями, характеризующими энергетические свойства тракторов, являются производительность и удельный расход топлива сельскохозяйственными агрегатами, составляющий значительную долю эксплуатационных затрат в себестоимости выполняемых работ.

Трактор Беларус-3022ДВ – модернизация базовой модели Беларус-2522 с новой кабиной современного дизайна с улучшенными условиями труда для оператора и с передним ведущим мостом (ПВМ) производства минского тракторного завода. Сельскохозяйственный энергонасыщенный колесный трактор Беларус-3022ДВ тягового класса 5,0 с колесной формулой 4x4 предназначен для выполнения различных сельскохозяйственных работ с навесными, полунавесными, прицепными машинами и орудиями, погрузочно-разгрузочными средствами, для привода стационарных сельскохозяйственных машин, а также для транспортных работ в различных климатических зонах.

Для повышения эффективности использования колесных тракторов при выполнении транспортных работ наибольшее внимание уделяется тормозным свойствам трактора и эффективности работы тормозной системы трактора, что обеспечивает работу на более высоких скоростях с соблюдением требований безопасности. Все это позволяет повысить производительность и топливную экономичность за счет повышения средней скорости движения тракторно-транспортного агрегата в целом.

Практически все наиболее известные тракторостроительные фирмы мира расширили мощностные ряды выпускаемых машин или обновили их модельные ряды за счёт предложения мощных колёсных тракторов. Средняя мощ-

ность в странах Европы колеблется в пределах 110-200 л.с. При этом большое внимание уделяется безопасности и надежности этих тракторов. Соответственно и развитию тормозных систем, которые являются одним из важнейших показателей безопасности при выполнении транспортных работ на повышенных скоростях движения тракторно-транспортного агрегата [2].

Привод тормозов предназначен для управления тормозами, как на прямом ходу трактора, так и на реверсе. Тип привода тормозов гидростатический с подвесными педалями. Привод (рис. 1) состоит из главных цилиндров 4 (для прямого хода) и 14 (в режиме реверса), подвесных педалей 9 (для прямого хода) и 15 (в режиме реверса), рабочих цилиндров 16 (для прямого хода) и 21 (в режиме реверса), бачков 5. В системе привода тормозов в качестве рабочей жидкости применяется тормозная жидкость «Нева М» ТУ 2451-053-36732629-2003.

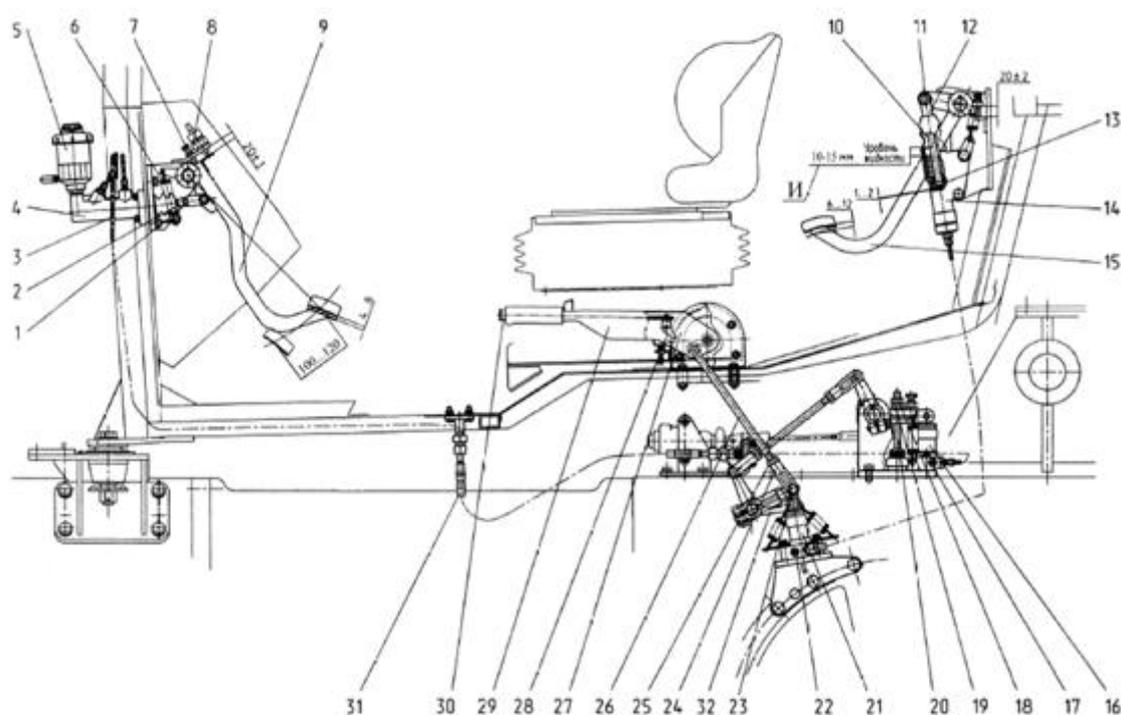


Рис. 1. Схема управления тормозами

- 1 - контргайка; 2 – толкатель; 3 – трубопровод; 4 – главный цилиндр; 5 – бачок; 6 – пружина; 7 – болт; 8 – гайка; 9 – педаль; 10 – толкатель; 11 – палец; 12 – вилка; 13 – поршень; 14 – главный цилиндр; 15 - педаль реверса; 16 – рабочий цилиндр; 17 – перепускной клапан; 18 – контргайка; 19 – регулировочная гайка; 20 – тяга; 21 – рабочий цилиндр реверса; 22 - перепускной клапан; 23 – палец; 24 – вилка; 25 – контргайка; 26 – тяга; 27 – сектор; 28 – фиксатор; 29 – рычаг; 30 – кнопка; 31 – рукав гибкий; 32 – рычаг

Механизмы привода тормозов являются общими как для привода гидrocилиндрами от педалей (на прямом ходу и реверсе), так и для механического ручного привода от рычага управления 29 через систему тяг и рычагов на оба колеса. При управлении педалями 9 на прямом ходу обеспечи-

вается раздельное (по бортам) управление тормозами и управление на оба тормоза при блокировании педалей. При управлении педалью реверса 15 и при ручном управлении торможение осуществляется двумя задними колёсами одновременно от рабочего цилиндра реверса 21 и рычага 32 (для реверса) и от рычага управления 29, через тягу 26 (для ручного управления).

Главный тормозной цилиндр (рис. 2) предназначен для создания необходимого давления рабочей жидкости в тормозной системе трактора.

При воздействии на педаль тормоза толкатель 1 главного тормозного цилиндра, связанный с рычагом педали, перемещается вперед. При этом закрывается запорный клапан 4, через который в корпус 2 поступает тормозная жидкость из бачка. Поршень 3 перемещается вперед, толкая уравнительный клапан 5 при этом часть жидкости под давлением поступает в уравнительную камеру 7, что обеспечивает выравнивание давления жидкости в магистралях рабочих цилиндров правого и левого тормозов при воздействии на заблокированные педали. Рабочая жидкость при этом подается под давлением через выходное отверстие 6 по трубопроводу в рабочий цилиндр тормоза. Поршень рабочего цилиндра давлением жидкости перемещается и через шток поворачивает рычаг, который через сферическую шайбу, зафиксированную на тяге, поднимает ее, затягивая нажимными дисками тормоз. При снятии усилия с педали поршень рабочего цилиндра возвращается в исходное положение.

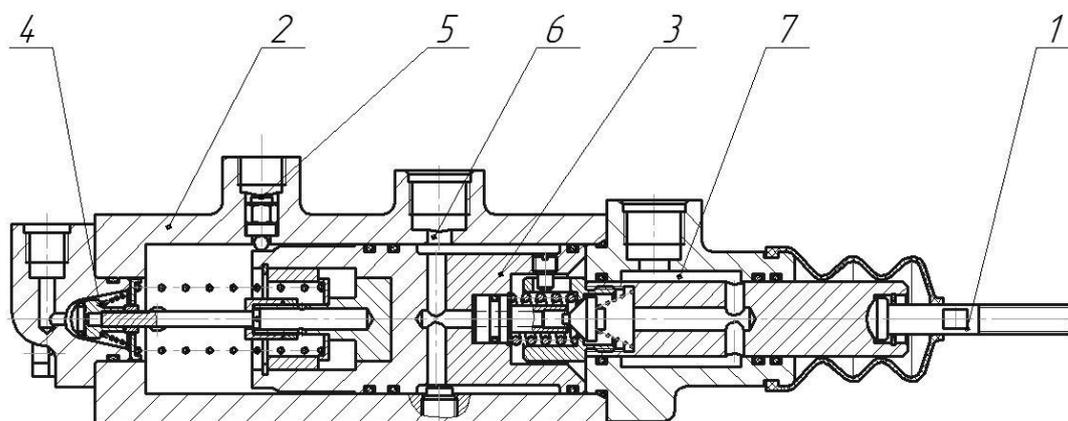


Рис. 2. Главный тормозной цилиндр

Механизмы привода левого и правого тормозов имеют одинаковую конструкцию. Отличаются они лишь длиной валиков механизма привода ориентацией их расположения и наружными рычагами.

Раздельное торможение (левого и правого колеса) применяется при выполнении ряда работ, требующих повышенной маневренности трактора или тракторного агрегата с минимальными радиусами поворота за счет подтормаживания внутреннего колеса [3].

После проведения анализа известных конструкций было принято решение, что глубокой модернизации необходимо подвергнуть двигатель,

несущую систему трактора. Конфигурация двигателя будет изменена в пользу номинальной мощности, т.е. до 313 л.с., что повысит динамические характеристики трактора и позволит произвести более равномерное распределение массы трактора по осям (рис. 3). Модернизация несущей системы будет заключаться в замене полурамной конструкции на несущую цельнометаллическую раму.

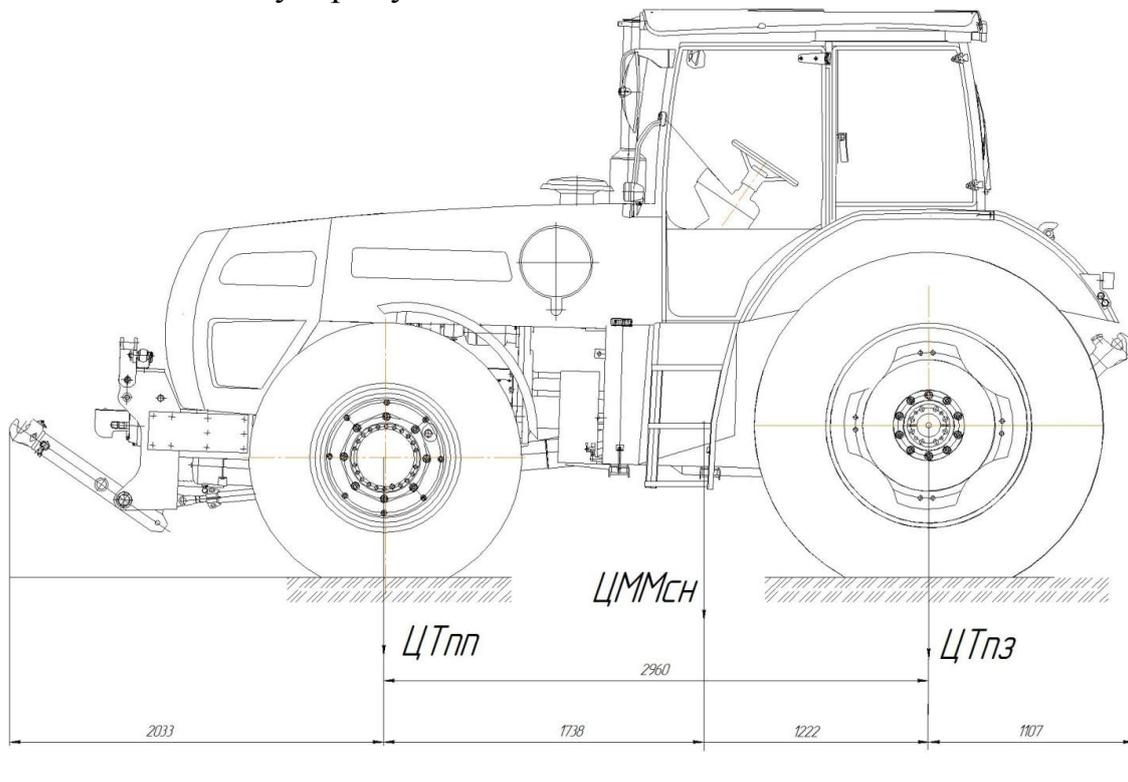


Рис. 3. Распределение центра тяжести по осям трактора полной массы

В результате проектирования конструкции трактора на выходе должен появиться продукт, удовлетворяющий всем требованиям производителя и потребителя.

Разработанная компоновочная схема представляет с собой классическую схему сельскохозяйственного трактора, что позволяет им выполнять намного больше операций, чем шарнирно-сочлененные машины. Это позволяет работать (в зависимости от модели) на пропашных операциях, на кормозаготовительных работах, с фронтальным погрузчиком, в животноводческих комплексах и многих других операциях. Такое нововведение позволяет применить модульный принцип сочленения, что облегчает доступ к агрегатам и внешние нагрузки будет принимать на себя несущая система (рама трактора) в отличие от полурамной конструкции. При полурамной конструкции, являющейся частью остова, воспринимающего силы, возникающие от действия веса, тягового усилия и сил инерции трактора

воспринимают картеры узлов трансмиссии и двухбалочная полурама в передней части трактора. К полураме крепится передний мост, передняя опора двигателя и его систем, переднее навесное оборудование. Такие тракторы имеют переднее расположение двигателя и заднее расположение поста управления. Полурамный остов упрощает конструкцию трактора, но затрудняет процесс его разборки и сборки при ремонте. Кроме того, большие переменные нагрузки на картеры узлов трансмиссии снижают её долговечность и не позволяют применять зубчатые зацепления высокой точности.

Список литературы

[1] *Скотников В.А., Мащенский А.А., Солонский А.С.* Основы теории и расчета трактора и автомобиля; Под ред. В.А. Скотникова. – М.: Агропром издат, 1986. – 383 с.

[2] Трактор МТЗ-3022. [Электронный ресурс] URL: <http://traktorbook.com/traktor-mtz-3022/> (дата обращения 20.03.2018).

[3] Руководство по эксплуатации 2522/2822/3022. [Электронный ресурс] URL: http://www.exportbel.ru/mtz/rukovodstva/rukovodstvo_po_ekspluatacii_3022.1 (Дата обращения 20.03.2018).

Чекрыжов Александр Викторович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Chekryzhov-alex@mail.ru

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

А.В. Матвеев, Н.П. Кодинцев

ПРИМЕНЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ТОРМОЗНОЙ ПАРЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТАМИ В ДИСКОВЫХ ТОРМОЗАХ

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

Тормозная система является одним из главных элементов управления транспортным средством – отвечает за снижение скорости, вплоть до полной остановки. Так же данная система отвечает за безопасность движения на дороге.

Существует два основных вида тормозных систем барабанные и дисковые. Дисковые тормоза наиболее популярны, так как имеют ряд преимуществ перед барабанными тормозами:

- площадь поверхности трения больше чем у барабанных;
- сохранение эффективности торможения при перегреве;
- обслуживание требуется гораздо реже.

Но также данный тип тормозов имеет некоторые недостатки – меньший ресурс, по сравнению с барабанными.

Рассмотрев данную проблему, предлагается изменить конструкцию таким образом, чтобы дисковые тормоза, а именно тормозные колодки подвергались меньшему изнашиванию. Это может быть достигнуто посредством установки дополнительной тормозной пары. Дополнительная тормозная пара состоит из двух электромагнитов, которые расположены по обеим сторонам тормозного диска. Данные электромагниты соединены магнитопроводом. Обмотки электромагнитов присоединены к блоку управления (рис. 1).

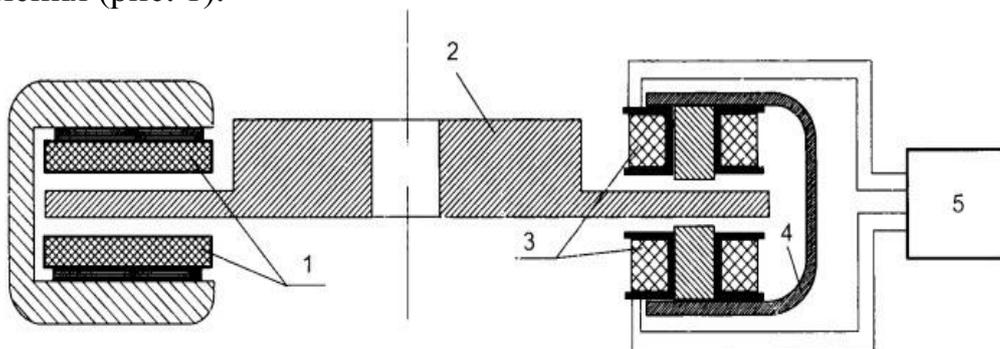


Рис. 1. Дополнительная тормозная пара с электромагнитом
1 – тормозные колодки; 2 – тормозной диск; 3 – электромагниты; 4 – магнитопровод;
5 – блок управления

При подаче напряжения на электромагниты в тормозном диске появляются вихревые токи, связь которых с магнитным полем, создаваемым электромагнитами, начинает торможение диска. Уровень вихревых токов и тормозящих моментов напрямую зависит от величин токов в обмотках электромагнитов, а также от скорости вращения диска. Общий тормозящий момент складывается из тормозящего момента, который создается тормозными

ми колодками, и момента, который определяется количеством дополнительных тормозных пар, токами в них и скоростью вращения диска.

Если ход педали сделать таким, что в начале торможение выполняется вспомогательными тормозными парами, а затем в процесс торможения подключаются штатные тормозные колодки, то можно увеличить срок службы тормозных колодок и дисков, потому что электромагнитное торможение наиболее эффективно в начале торможения на больших скоростях вращения диска. При экстренном торможении можно гарантировать большой суммарный тормозной момент из-за резкого увеличения токов электромагнитов.

Также в предлагаемом тормозе можно реализовать питание тормозящих пар неизменяющимся постоянным током. В этом случае тормозящий момент, который создается электромагнитами, суммируется с моментом, определяемым штатными тормозными колодками, к тому же по мере уменьшения скорости вращения тормозных дисков момент, который определяется вихревыми токами, будет уменьшаться и в конце торможения станет равным нулю.

Возможно также осуществлять питание тормозящих пар током, который увеличивается при торможении. Тогда тормозящий момент, складывается с моментом, который определяется штатными колодками, будет до определенного момента оставаться неизменным и увеличиваться или уменьшаться в зависимости от параметров изменения токов электромагнита. Тормозной момент, определяемый электромагнитами, станет равным нулю только при остановке автомобиля.

В обоих случаях можно регулировать величины тормозящих моментов, меняя при этом количество вспомогательных тормозных пар и регулируя токи в электромагнитах для создания нужных нам тормозных характеристик.

Таким образом, данное техническое решение может быть использовано для увеличения надёжности, срока службы тормозных колодок и тормозных дисков, а также для улучшения тормозных характеристик автомобиля в целом. Реализация данного решения позволяет создать простое и надёжное устройство, которое позволяет менять параметры торможения непосредственно в процессе торможения.

Список литературы

[1] Гуревич, П.В. *Пневматический тормозной привод автотранспортных средств*. Москва: Изд-во Транспорт, 2009. – 415 с.

[2] *Дисковый тормоз*. URL: findpatent.ru/patent/245/2458267.html (дата обращения 30.03.2018).

Матвеев Александр Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: matpeev@yandex.ru

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

С.А. Плахов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ СЕМЕЙСТВА "ГАЗ"

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

Разнообразие условий эксплуатации автомобилей в целом и двигателей в частности предопределяет различное влияние тепловых режимов на износ деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ). Тепловой режим двигателя внутреннего сгорания (ДВС) является одним из основных факторов, обуславливающих интенсивность изнашивания деталей ЦПГ.

Причинами изменения теплового режима двигателя являются климатические условия, нагрузочные и скоростные режимы, техническое состояние деталей и т.д. Особенности конструкции отдельных систем, узлов и агрегатов обуславливают различное влияние на изнашивание каждого из них.

Для двигателей с жидкостным охлаждением рекомендуется поддерживать температуру охлаждающей жидкости в пределах 80-90 °С (рис. 1), температуру масла 70-80 °С [1].

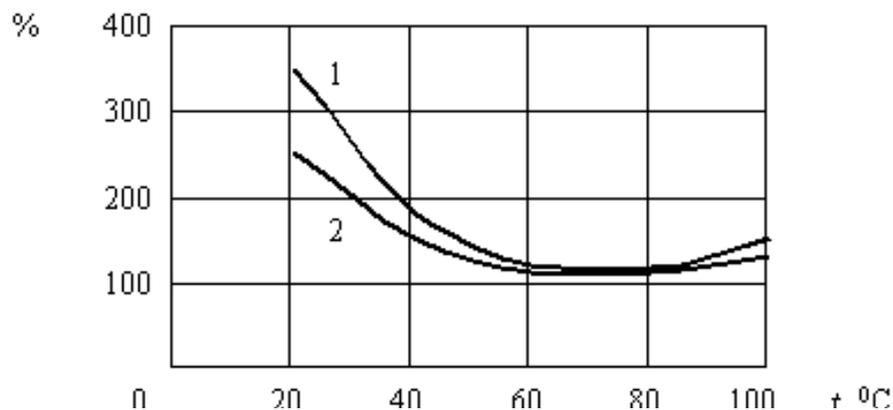


Рис. 1. Зависимость относительной скорости изнашивания цилиндров бензинового и дизельного двигателей от температуры охлаждающей жидкости (по данным НАМИ):
1 – бензиновый; 2 – дизельный

Отклонение температуры от указанных значений, как в сторону снижения, так и в сторону увеличения, приводит к повышению износа деталей двигателя [3]. При превышении температуры двигателя может произойти оплавление алюминиевых деталей, образующих камеру сгорания, интенсифицируются процессы коксования моторных масел, образования лаковых отложений на поверхностях и т.д. Из-за разжижения масел повышаются износы цилиндров. Значительный разброс рабочих температур двигателя негативно сказывается на величине допусков на тепловое расширение деталей. Кроме этого, растет токсичность отработавших газов по выбросам оксида азота NO_x и ухудшаются технико-экономические показатели в це-

лом. Поддержание стабильного теплового режима двигателя является одним из важнейших условий его длительной и бесперебойной работы.

Система охлаждения автомобилей семейства «ГАЗ» – жидкостная, закрытого типа, с принудительной циркуляцией. К основным элементам которой относятся: рубашка охлаждения двигателя, радиатор с электровентилятором, термостат, водяной насос, расширительный бачок и соединительные шланги.

Циркуляцию охлаждающей жидкости обеспечивает насос, который гоняет жидкость через рубашку охлаждения ДВС. После двигателя охлаждающая жидкость проходит через термостат в радиатор и там уже остывает от потока встречного воздуха (при движении) или при включении вентилятора, если температура продолжает расти. Есть два круга циркуляции жидкости: большой и малый. При большом круге охлаждающая жидкость проходит через рубашку охлаждения двигателя и радиатор, а при малом круге – радиатор не задействован [2]. Также в системе отопления задействован радиатор отопителя и блок подогрева дроссельного узла. Жидкость в них циркулирует независимо от термостата. Чтобы повысить температуру кипения жидкости, система должна быть полностью герметичной. Герметичность обеспечивается впускным и выпускным клапаном, который расположен в крышке расширительного бачка. Выпускной клапан поддерживает давление в системе при горячем двигателе и открывается при давлении, превышающем 1,1 бар. Впускной клапан открывается при понижении давления в системе относительно атмосферного на 0,03-0,13 бар.

Функционирование системы охлаждения подобного типа обеспечивает усредненные тепловые режимы. При эксплуатации автомобиля в условиях высоких температур окружающей среды и низкой скорости движения охлаждение двигателя обеспечивается включением вентилятора радиатора. В существующих конструкциях включение вентилятора происходит при достижении температуры охлаждающей жидкости верхнего порогового значения. При этом температура может подняться до 100 °С и более, что оказывает негативное влияние на процессы, происходящие в системах и механизмах двигателя. Чем чаще цикличность достижения верхнего порогового значения температуры охлаждающей жидкости, тем более нестабильные условия работы двигателя в целом и увеличение износа деталей ЦПГ в частности. Одним из вариантов обеспечения заданного постоянного температурного режима двигателя является применение электронного реле управления вентилятором радиатора.

Электронное реле управления вращением вентилятора радиатора в зависимости от температуры двигателя обеспечивает плавное регулирование частоты вращения вентилятора в зависимости от температуры охлаждающей жидкости двигателя.

Электрическая схема подключения (рис.2) обеспечивает компактность размещения компонентов, возможность корректировки под определенные условия и обладает низким энергопотреблением.

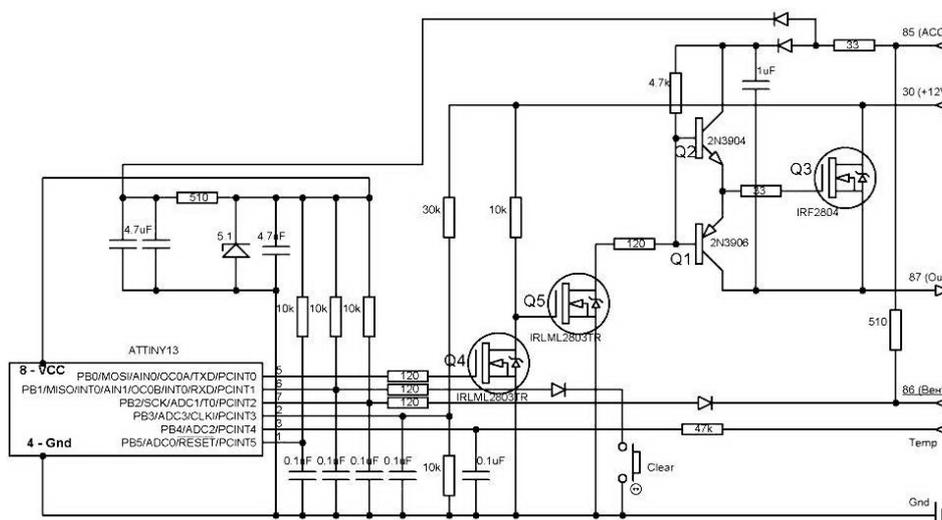


Рис. 2. Схема подключения

При превышении температуры охлаждающей жидкости $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит включение вентилятора на малую скорость вращения, которая пропорционально увеличивается, если температура охлаждающей жидкости продолжает расти до достижения максимальных значений.

Подобное реле может быть установлено вместо штатного на автомобилях, оборудованных датчиком температуры охлаждающей жидкости (ДТОЖ) с отрицательным ТКН (с ростом температуры напряжение на выходе датчика уменьшается). Электронное реле управляет частотой вращения вентилятора только при работающем двигателе и в пределах, предварительно заданных рациональных температурных режимов. Для обеспечения нормального теплового режима двигателя задаются пороговые значения температуры включения и отключения вентилятора радиатора, что происходит автоматически при его первом включении электронным блоком управления. Если в данной схеме происходит сбой, то включение и отключение вентилятора будет осуществляться от электронного блока управления двигателем.

Список литературы

[1] *Вахламов В.К.* Автомобили: теория и конструкция автомобиля и двигателя: учебник / *В.К. Вахламов, М.Г.* – 5-е изд., стер. – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 816 с.

[2] *Сидоров В.Н.* Тракторы и автомобили: Двигатели: учебно-методическое пособие / *В.Н. Сидоров.* – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 44с.

[3] *Черноиванов В.И.* Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учеб. пособие для вузов / *В.И. Черноиванов.* – Челябинск: ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003. – 992с.

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

А.Д. Серов, В.Н. Сидоров

СЪЕМНЫЙ (ЗАПАСНОЙ) СТЕКЛООЧИСТИТЕЛЬ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

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

В настоящее время актуальна тема повышения безопасности дорожного движения. Одной из возможных проблем на дороге может оказаться отказ (поломка) стеклоочистителя. По результатам опроса около 30% из опрошенных автолюбителей считают данное устройство актуальным [1].

Данное устройство предназначено для очистки ветрового стекла автомобиля в случае отказа штатного стеклоочистителя и необходимости продолжения безопасного движения автомобиля в плохих условиях (дождь, снег, грязь и др.).

Известна конструкция стеклоочистителя, описанная в заявке 2011107326 от 25.02.2011. Стеклоочиститель представляет собой две части, удерживаемые на стекле за счет магнитных сил, состоящие из опорных присосок и подвижных щеток, поворачиваемых вручную. Щетки расположены как на наружной стороне, так и на внутренней и поворачиваются синхронно за счет магнитного сцепления подвижных частей [2].

Недостатком описанной конструкции является то, что для приведения в движение щетки стеклоочистителя водитель вынужден совершать движения рукой, что небезопасно при движении автомобиля, поэтому данное устройство не нашло широкого применения на практике.

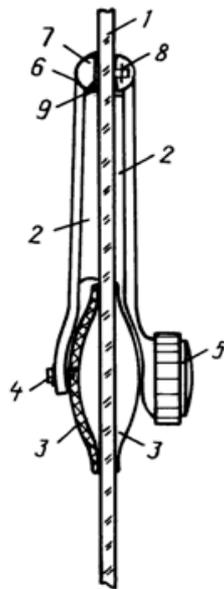


Рис. 1. Стеклоочиститель для автотранспорта с ручным приводом
1 – стекло; 2 – щетка; 3 – присоска; 4 – ось щетки; 5 – рукоятка;
6 – магнитная законцовка; 7 – капельница; 8 – ролик; 9 – отверстие

В предлагаемом же устройстве компактно располагаются бачок стеклоочистителя, крепления корпуса стеклоочистителя к капоту автомобиля, электрический магнит встроенный в корпус, трубопроводы омывателя, сопла омывателя, щетки и привод стеклоочистителя выключатель стеклоочистителя, реле управления прерывистом режимом работы, провода и клеммы аккумулятора и другие элементы.

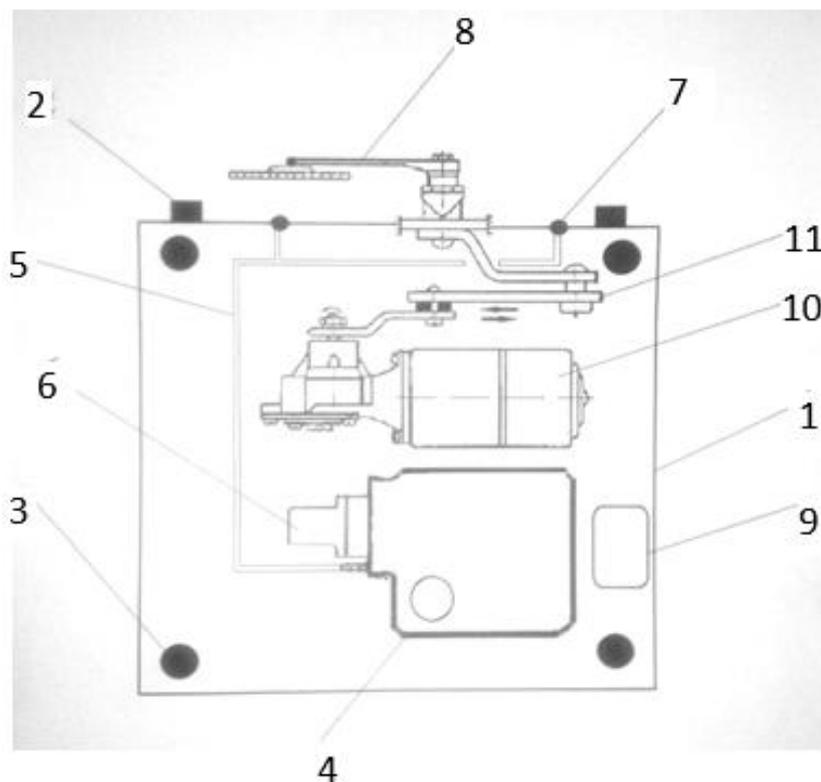


Рис. 2. Съемный (запасной) стеклоочиститель транспортного средства

- 1 – корпус стеклоочистителя; 2 – крепления корпуса стеклоочистителя к капоту автомобиля; 3 – электрический магнит, встроенный в корпус; 4 – бачок омывателя; 5 – соединительные шланги омывателя; 6 – электропривод омывателя; 7 – сопла омывателя; 8 – щетки и привод стеклоочистителя; 9 – цепь реле управления прерывистым режимом работы стеклоочистителя; 10 – электропривод стеклоочистителя; 11 – тяги стеклоочистителя

Стеклоочиститель устанавливается и работает следующим образом. При поломке штатного стеклоочистителя и необходимости продолжения движения автомобиля в плохих погодных условиях (снег, дождь, грязь и др.), устройство крепится на капот автомобиля возле ветрового стекла за счет электромагнита и крепежей, щетки направляются на стекло, питание осуществляется за счет аккумулятора автомобиля, подключенного к устройству за счет соединительных проводов и клемм на цепь реле управления прерывистым режимом работы. Устанавливается частота

движения щеток и привода стеклоочистителя. При этом щетка удаляет грязь набрасываемую на лобовое стекло как встречным транспортом так и обгоняющим. Для повышения качества очистки, через сопла омывателя подается вода. Всё это позволяет продолжить безопасное движение автомобиля в плохих погодных условиях.

Аналогов данной конструкции не выявлено. Таким образом, в известном уровне техники ни один из известных объектов не позволяет получить тот технический результат, который будет получен при использовании данного устройства.

Данное устройство целесообразно использовать на всех типах легковых автомобилей, тракторах.

Список литературы

[1] *Портал города Калуги и области*. URL: <http://www.kaluga-poisk.ru/opros-kaluga/kupili-by-vy-sebe-semnyy-zapasnoy-stekloochistitel-transportnogo-sredstva>

[2] *Библиотека патентов и изобретений*. URL : <http://www.freepatent.ru/images/patents/1/2451606/patent-2451606.pdf>

Серов Андрей Дмитриевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: andrej.seroff@gmail.com

Сидоров Владимир Николаевич – д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Автомобиле- и тракторостроение» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: sidorov-kaluga@yandex.ru

С.В. Попадько, С.А. Голубина

УВЕЛИЧЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ АВТОМОБИЛЯ ГАЗ «ВАЛДАЙ»

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

В настоящее время вопрос увеличения грузоподъемности всё ещё актуален, как это было и ранее. Вариантов модернизации автомобиля для этой задачи существует несколько, но в основном все они требуют увеличения базы автомобиля и, следовательно, увеличения его габаритных размеров. Отказ от увеличения габаритов во многих случаях это необходимость, так как большая часть транспорта сейчас задействована в условиях города, где большие габариты становятся препятствием не только на дороге, но и в местах непосредственной эксплуатации автомобиля.

ГАЗ «Валдай» - один из лучших представителей отечественных среднетоннажных автомобилей на современном рынке. Многие его характеристики превосходят аналоги, что выгодно выделяет «Валдай» среди других.

Для сравнительного анализа подбирались и грузовики зарубежных марок, таких как Mercedes-Benz, Mitsubishi, Hyundai. Изучив конструкцию и характеристики этих аналогов, был сделан вывод о внимании производителей и проектировщиков к следующим факторам:

- 1) увеличение грузоподъемности;
- 2) внедрение высокопроизводительных двигателей;
- 3) использование рам из высокопрочных материалов или усиленных рам со стандартной базой;
- 4) создание новых систем безопасности пассажиров и водителя [1].

Особое внимание уделяется именно грузоподъемности и комфорту водителя и пассажиров. Для достижения необходимости необходимых параметров автомобилю необходимы два условия – усиленная рама и пневматическая подвеска, которая устанавливается в дополнение к рессорной. Усиление рамы предполагает под собой либо установку дополнительных элементов на раме, для увеличения жесткости и прочности, либо изменение сечения рамы автомобиля, которое закладывается на стадии проектирования и разработки. Установка пневматической подвески – отличное решение для улучшения управляемости и комфорта. К тому же одним из плюсов такой пневматической подвески будет перераспределение веса с других элементов, в частности рессор, и как следствие увеличение срока их службы, что в свою очередь увеличит расстояние, которое автомобиль может проехать до своего следующего посещения сервисного центра [2].

При обосновании выбора способа, которым будет улучшаться рама, можно руководствоваться простой истиной, что заложенные ещё на стадии проектирования изменения в большинстве случаев будут лучше, чем доработка путём приваривания дополнительных элементов усиления. Для того, чтобы быть уверенным в том, что спроектированная рама будет выдержи-

вать необходимые нагрузки и не повлечет за собой высокого перерасхода материалов, необходимо изучить конструкцию рамы, понять где у неё слабые места и улучшить конструкцию непосредственно в месте с наибольшей воспринимаемой нагрузкой. После модернизации необходимо произвести лишь проверочный расчет по новой грузоподъемности и убедиться в правильности выбранных решений.

Для расчетов проще использовать именно расчетную модель (рис. 1), в которой присутствуют необходимые упрощения и допущения, так как это позволяет существенно сократить необходимый ресурс, как временной, так и мощностной (мощность компьютеров, задействованных для расчетов) и существенно ускорить процесс доработки.

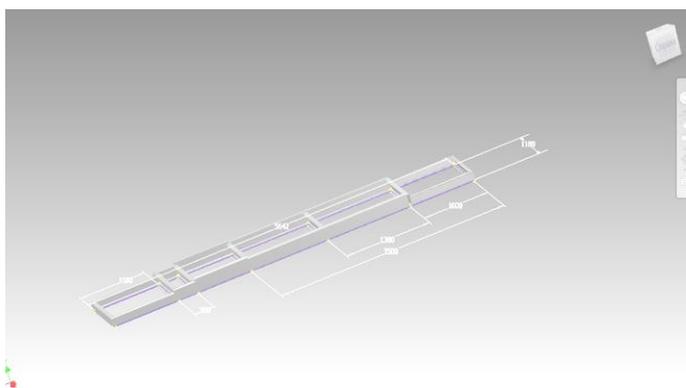


Рис. 1. Расчетная модель рамы

Далее, после построения расчетной модели, необходимо заложить все необходимые дополнительные параметры, такие как сечения элементов рамы, материалы, используемые при их изготовлении, расположение опор и другие. После этого шага можно переходить к расчету этой модели и формированию отчета по результатам. Графическая интерпретация нагрузок и напряжений (рис. 2) помогает улучшить визуальное восприятие необходимой информации.

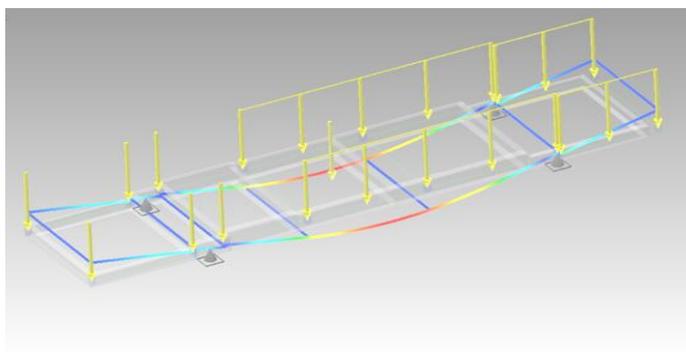


Рис. 2. Визуализированные результаты расчета модели

Область, окрашенная в красный цвет, является тем самым результатом, который помогает оценить самую нагруженную область рамы, которая нуждается в доработке. Доработка будет заключаться в увеличении сечения данного участка рамы для нивелирования напряжений, которые яв-

ляются для данной конструкции критическими. После изменения необходимых параметров производится повторный расчет и проверяется результат распределения нагрузок на новой модели рамы с увеличенным профилем участка (рис. 3):

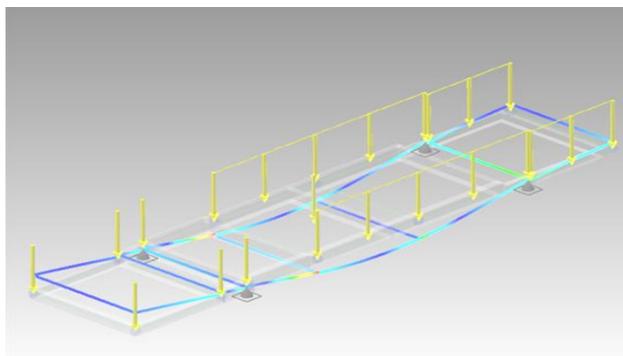


Рис. 3. Визуализированные результаты расчета новой модели

По полученным результатам видно, что участки с критическим напряжением отсутствуют, что говорит о положительном эффекте модернизации.

Помимо модернизации рамы необходимо сделать акцент и на управляемости автомобиля, которая, при большей загрузке, естественным образом ухудшается. Большая масса приводит к увеличению сил инерции, действующих на кузов и, как следствие, влиянию на управляемость автомобиля. Регулируемое давление в баллонах пневматической подвески наличие пневматических элементов как дополнение к рессорам – хорошее решение для их разгрузки улучшит управляемость. Сжатие воздуха при движении по грунтовой дороге или некачественному асфальту становится заметно выше, за счет чего уменьшается наклон автомобиля на поворотах, удары и вибрация [3].

Как итог данных модернизаций получается увеличенная грузоподъемность, улучшенная управляемость, сохранение габаритов автомобиля и его маневренности в условиях города. Можно сделать вывод, что данная модернизация довольно актуальна в условиях автомобильной промышленности и имеет широкую применимость для схожих по конструкции автомобилей.

Список литературы

[1] Как работает автомобиль. Тенденции развития автомобилей. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://howcarworks.ru/вопрос/тенденции> (дата обращения 23.03.2018).

[2] Современный автомобиль. Грузоподъемность [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://systemsauto.ru/pendant/gruzopodemnost.html> (дата обращения 23.03.2018).

[3] Как работает пневматическая подвеска. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://avtonov.com/что-такое-подвеска> (дата обращения 23.03.2018).

Попадько Сергей Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: DireAtronax@yandex.ru

Голубина Светлана Александровна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k4kf@bmstu-kaluga.ru

СЕКЦИЯ 8.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ

М.С. Дубинина, В.И. Кристя

АНАЛИТИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ИОНИЗАЦИИ В СЛАБОТОЧНОМ РАЗРЯДЕ В СМЕСИ АРГОНА С ПАРАМИ РТУТИ

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

Несмотря на широкое распространение светодиодных ламп, самым распространённым типом осветительных приборов в настоящее время являются дуговые осветительные лампы [1]. В качестве рабочей среды в них часто используется смесь аргона с парами ртути. Её особенность – постоянная концентрация аргона и зависящее от температуры содержание ртути, от которого, в свою очередь, зависит напряжение зажигания разряда.

После приложения достаточно большого напряжения U между электродами в лампе происходит пробой рабочей смеси и возникает слаботочный разряд, который переходит в тлеющий, а затем – в дуговой [2, 3]. Минимальное значение U , необходимое для возникновения пробоя в газе, называется напряжением зажигания. Долговечность дуговых осветительных ламп определяется, в значительной степени, воздействием плазмы разряда на электроды, поэтому один из путей увеличения долговечности лампы состоит в снижении напряжения зажигания разряда в ней.

Напряжение зажигания разряда зависит от коэффициента ионизации смеси α , равного среднему числу ионизаций, производимых на единице длины разряда в расчете на один электрон, и зависящего от напряженности электрического поля и состава смеси [2]. В смеси аргона с парами ртути, помимо прямой ионизации атомов газов электронами, может происходить ионизация атомов ртути метастабильными атомами аргона. Этот процесс называется Пеннинговской ионизацией, и его необходимо учитывать при расчёте α [2].

Зависимости α от напряженности электрического поля E в смеси аргона с парами ртути для ряда значений температуры построены в [4, 5]. В данной работе на их основе с использованием метода наименьших квадратов построена аналитическая аппроксимация вида:

$$\frac{\alpha}{N} = A \exp\left(-\frac{B}{E/N}\right) \quad (1)$$

где N - концентрация атомов смеси, а A и B - параметры, величины которых зависят от температуры T [2]. При T от 243 К до 403 К они определяются выражениями:

$$A(T) = 0,02T^3 - 0,12T^2 - 0,05T + 19,84 \quad (2)$$

$$B(T) = 0,70T^3 - 2,14T^2 - 44,08T + 387,00 \quad (3)$$

На рисунках 1, 2 приведены графики полученных зависимостей (линии) и значения параметров A и B , найденные в [5] (точки).

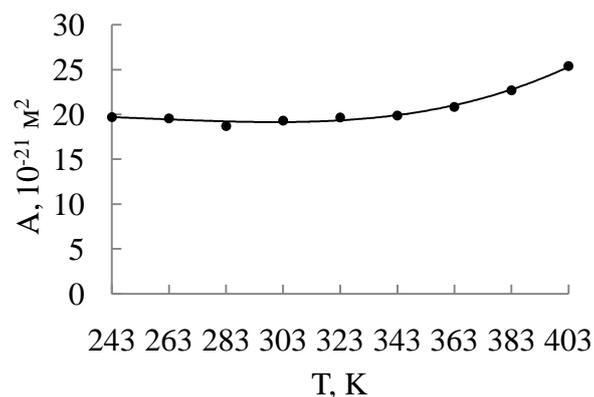


Рис. 1. Зависимость параметра A аппроксимации (1) от температуры

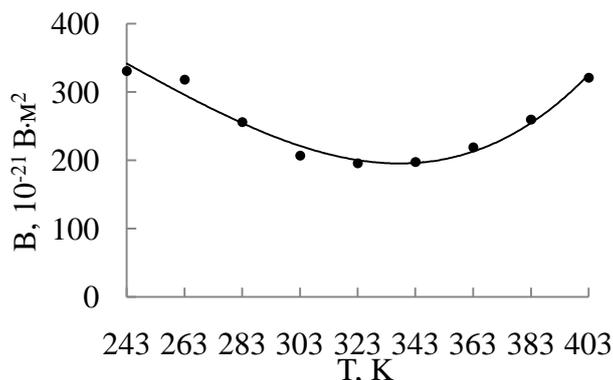


Рис. 2. Зависимость параметра B аппроксимации (1) от температуры

Из рисунков видно, что имеет место хорошее согласие построенных аппроксимаций (2) – (3) с результатами, полученными в [5]. Следовательно, выражения (1) – (3) могут использоваться при моделировании разряда в смеси аргон-ртуть в диапазоне ее температуры от 243 К до 403 К.

Список литературы

- [1] Zissis G., Kitsinelis S. State of art on the science and technology of electrical light sources: from the past to the future // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2009. – V. 42. – No. 17. – 173001.
- [2] Райзер Ю. П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 592 с.
- [3] Lister G.G., Lawler J.E., Lapatovich W.P., Godyak V.A. The physics of discharge lamps // Rev. Mod. Phys. 2004. V. 76. № 2. P. 541–598.
- [4] Кристя В.И., Фишер М.Р. Влияние эмиссионных свойств электрода и температуры газа на напряжение зажигания разряда в смеси аргона с парами ртути // Известия РАН. Серия физическая, 2012, т.76, № 5, С. 673-677.
- [5] Бондаренко Г.Г., Фишер М.Р., Кристя В.И. Влияние температуры на ионизационный коэффициент и напряжение зажигания таунсендовского разряда в смеси аргона с парами ртути // ЖТФ, 2017, т. 87, № 2, С. 197 – 203.

Дубинина Мария Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: m.s.dubinina95@gmail.com

Кристя Владимир Иванович – д-р физ.-мат. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kristya@bmstu-kaluga.ru

СЕКЦИЯ 9.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ, ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТЫ

Е.Н. Ильдияров, А.Н. Сизов

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ БЛОКА РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ ЭМП ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

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

Введение

В продолжение проработки вопросов применения электромеханических приводов (ЭМП) в управляющих контурах малоинерционных объектов регулирования [1 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 2] рассмотрены результаты моделирования в сравнении с результатами испытаний натурального ЭМП. Предложенная ранее совместная модель ЭМП и гидравлического блока регулирования в составе контура регулирования давления и частоты вращения паровой турбины показала свою адекватность, необходимо продолжение исследования.

Материалы и методы исследования.

В рамках исследования динамических процессов в контуре системы автоматического регулирования паровой турбины ранее было выполнено:

- рассмотрены способы обеспечения высокоскоростных линейных перемещений с прецизионным позиционированием рабочего органа - паровпускного регулирующего клапана и выделены преимущества роliko-винтовой пары [1];
- предложена математическая модель следящего электромеханического привода, конструктивно способного с заданной скоростью и точностью управлять положением промежуточного усилительного элемента – отсечного золотника в составе исполнительного гидравлического механизма (блока регулирования) паровой турбины [2].

Рассмотренная математическая модель ЭМП составлена по опытному образцу привода, спроектированному и изготовленному ЗАО «Диаконт» (г. С.-Петербург) [3] для применения в энергетике, в т.ч. в системах регулирования частоты вращения паровых турбин ОАО «КТЗ» (г. Калуга). Характерной особенностью их является применение гидравлического исполнительного механизма - гидромеханического блока регулирования - для управления положением паровпускных регулирующих клапанов парораспределения турбины [4]. Ход клапанов определяет расход свежего пара на турбину, однако, действующие при этом паровые усилия имеют непостоянный, циклический и даже зачастую знакопеременный характер что и определяет, главным образом, максимальную нагрузку на исполнительные органы блока регулирования в момент отрыва клапана от своего седла. Такое распределение усилий, которые необходимо преодолевать, по возможности, плавно – без рывков, в свою очередь, и обуславливает применение в его конструкции промежуточного усилительного звена – гидравлического отсечного золотника под управлением своего ЭМП.

Таким образом, рассматриваемый следящий привод входит в состав блока регулирования системы автоматического регулирования паровой турбины (САР ПТ), предназначенного для преобразования электрического сигнала управления от электронной управляющей части (ЭУЧ) САР ПТ, в перемещение сервомоторов (СМ), создающих необходимое усилие для перемещения регулирующих клапанов (РК).

Технические требования к функционалу современных контуров автоматического регулирования теплофизических параметров турбины, таких как давление свежего пара или частота вращения ротора, определяют достаточно высокие требования и к комплектуящему их оборудованию. Как из расчётного обоснования, так и из практического опыта эксплуатации можно утверждать, что для контуров рассматриваемого типа (электрогидравлические) достаточным для обеспечения качественной и безопасной работы будет применение ЭМП с характеристиками:

- постоянная времени (перемещение на полный рабочий ход при максимальном входном управляющем сигнале - важный компонент противоразгонной защиты турбоагрегата) – не более 0,1 сек;
- погрешность позиционирования – не более 0,1 мм;
- развиваемое усилие – не менее 1 кН.

При этом следует понимать, что указанные величины достаточно условны и осреднены по рабочему диапазону, т.к. в каждом конкретном случае они не только зависят от конкретных требований к качеству работы всего контура регулирования, но и сами влияют на его качество (точность и быстродействие) в существенной степени. Отсюда, помимо теоретической задачи синтеза оптимального регулирования, возникает и более практическая, инженерная задача – на этапе проектирования контура подобрать из существующего типоразмерного ряда ЭМП с такими параметрами быстродействия и точности, чтобы контур в целом смог удовлетворить по ним требованиям ТЗ.

Не рассматривая здесь первую часть задачи (методам её решения, в т.ч. и в нелинейной постановке, посвящено значительное количество работ, к примеру, уделим внимание практическим вопросам подбора и проверки необходимого оборудования, а также подтверждения параметров ранее разработанной математической модели привода [1-3].

В обеспечение решения данной задачи и в целях верификации модели ЭМП [2,3] изготовителем отечественных образцов ЭМП данного типа (ЗАО «Диаконт») на образце типа EMD-100 (300) были проведены ряд функциональных испытаний по программам [5], в т.ч. проверкам подвергалась:

работоспособность ЭМП (перемещение штока ЭМП в заданное положение 1-25 мм со скоростью не более 10 мм/сек; при этом точность позиционирования должна быть не хуже $\pm 0,1$ мм, а потребляемый ток не должен превышать 50 А);

точностные характеристики ЭМП (перемещение штока ЭМП в заданное положение 1-25 мм со скоростью не более 1 мм/сек; при этом точность позиционирования должна быть не хуже ± 10 мкм);

обеспечение «форсированного» режима - заданной скорости перемещения при наложении нагрузки на выходном штоке ЭМП (перемещение штока ЭМП в заданное положение 1-25 мм со скоростью не менее 220 мм/сек при воздействии на него постоянной нагрузки в 1 кН; при этом время перемещения не должно превышать 0,1 сек).

При этом использовалось вспомогательное оборудование:

- для управления ЭМП (задания величины и скорости перемещения), а также регистрации выходных параметров (положения его рабочего органа и величины потребляемого тока) использовался технологический компьютер со специальным ПО;
- механический стенд для создания заданной нагрузки на ЭМП (~ 1 кН) при помощи пневмоцилиндра.

Результаты исследования.

В результате испытаний все заданные к ЭМП требования были подтверждены снятыми характеристиками. С точки зрения обеспечения корректной работы турбины наиболее важно перемещение исполнительного органа в заданное положение – т.е. проверка возможности максимально быстрого перемещения ЭМП в заданное положение с присоединённой (статической) нагрузкой, учитывающей как массу подвижных частей (в т.ч. и ОЗ, жёстко пристыкованного к ЭМП), так и трение сопрягаемых поверхностей – см. рисунок 1.

Замеренное по ним время перемещения составило 75 мс, что удовлетворяет требованиям по скорости и точности позиционирования.

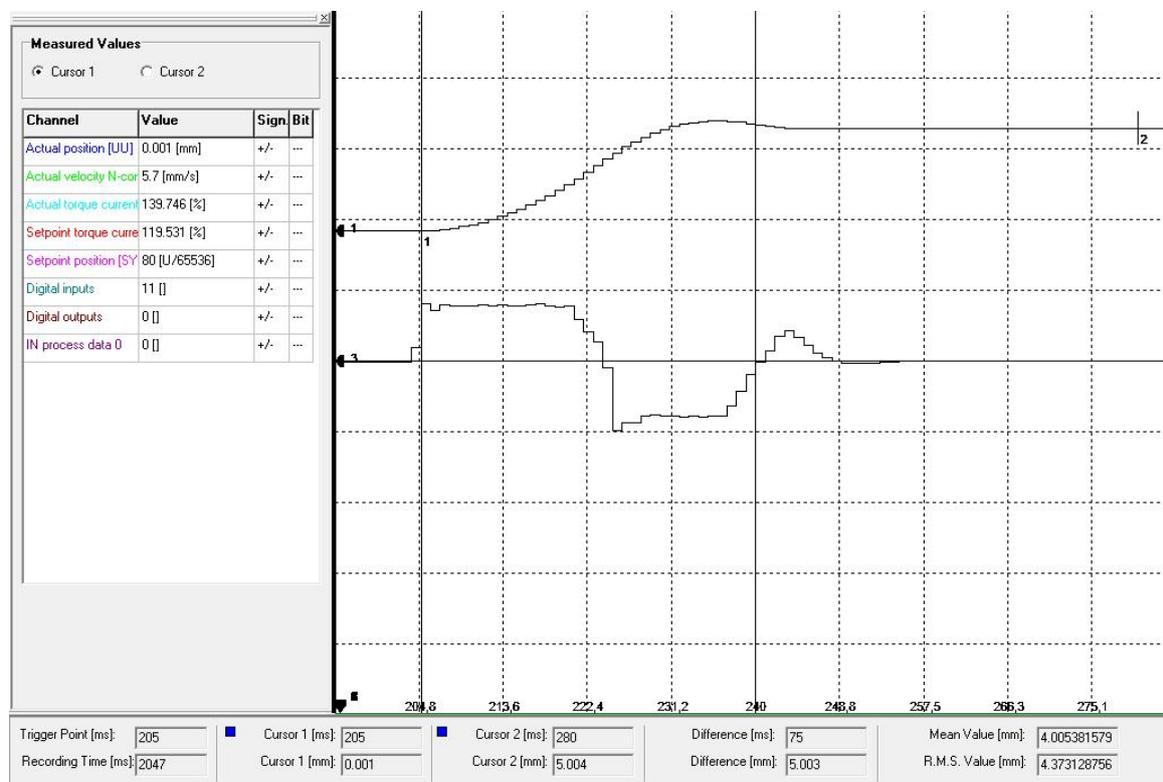


Рис. 1. Форсированное перемещение штока ЭМП на рабочий ход в мм, где метки «1» и «2» указывают на, соответственно, начало и конец перемещения

Выводы.

Разработанная ранее нелинейная математическая модель ЭМП [1-3] в алгебраических и дифференциальных уравнениях с постоянными коэффициентами учитывает, помимо особенностей конструкции, также и инерционность подвижных частей самого привода, и присоединённой к нему массы отсечного золотника (структурная схема приведена на рисунке 2).

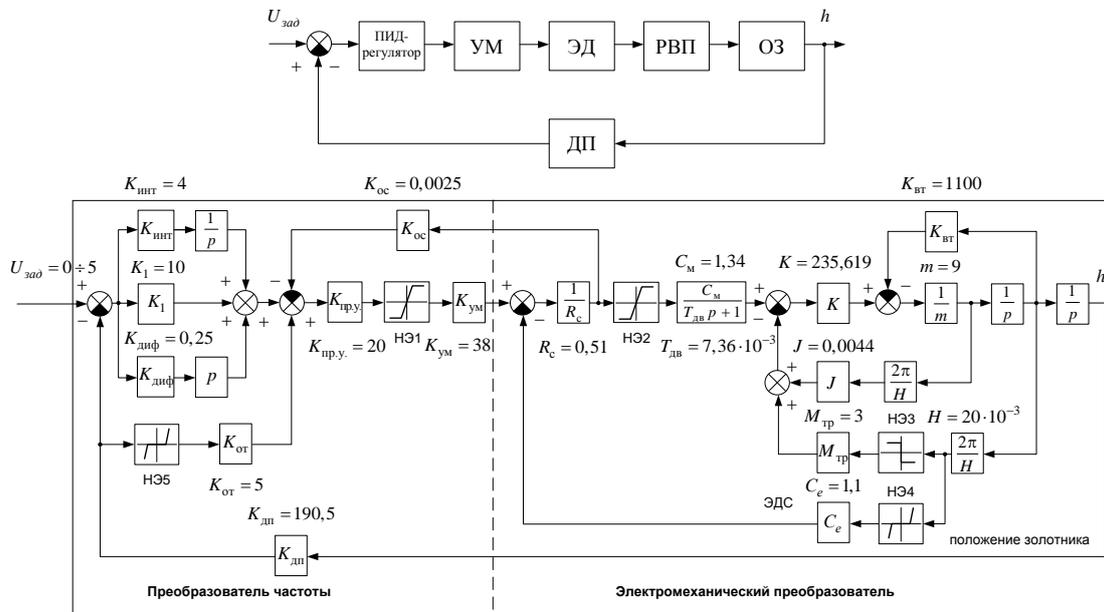


Рис. 2. Функциональная и структурная схемы СПОЗ:

УМ – усилитель мощности, ЭД – электродвигатель, РВП – ролико-винтовая передача, ОЗ – отсечной золотник, ДП – датчик положения

Первичное моделирование в ней режима форсированного перемещения штока ЭМП на рабочий ход 5 мм показывает качественную сходимость с результатами испытаний (рисунок 3) на наиболее ответственном режиме.

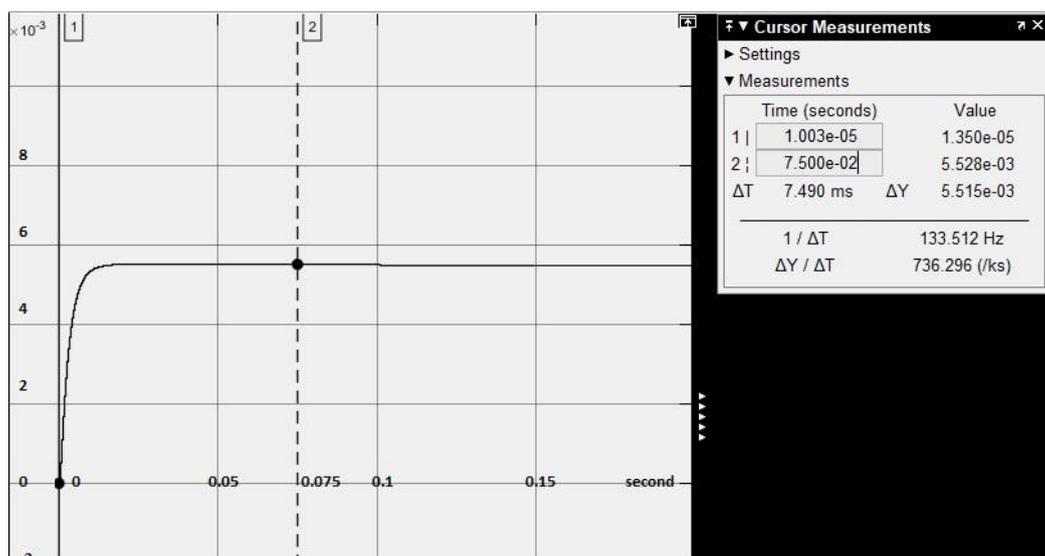


Рис. 3 Результат моделирования форсированного перемещения штока ЭМП на рабочий ход

Указанная модель, по-видимому, может быть использована как базовая при проектировании или выборе типоразмера ЭМП под заданные условия эксплуатации, но подлежит дальнейшей проверке на прочих режимах, а также уточнению параметров её нелинейных элементов и их влияния на параметры переходного процесса.

Список литературы

[1] Ильдияров Е.Н., Сизов А.Н. Применение технологии линейных перемещений для регулирования частоты вращения и давления пара блочной паротурбинной установки. Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 15 – 17 ноября 2016 г. Т. 2. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – с. 150-154.

[2] Ильдияров Е.Н. Сизов А.Н. Исследование устойчивости и качества работы электрогидравлического контура регулирования частоты вращения. Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы региональной научно-технической конференции, 18–20 апреля 2017 г. Т. 2. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – с 138-144.

[3] Сизов А.Н., Кириллов А.А., Кушбасов А.Н. Концепция разработки оборудования для блочной АТГУ и ПТУ. Анализ существующих схем регулирования и предложения по их модернизации. Материалы X молодежной научно-технической конференции «Взгляд в будущее – 2012». – СПб.: Изд-во ОАО «ЦКБ МТ «Рубин», 2012.

[4] Кирюхин В.И., Тараненко Н.М., Огурцова Е.П. и др. Паровые турбины малой мощности КТЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

[5] Программы и методики предварительных испытаний ЭМП: рег. № А17/30-632, №А2/30-741. ЗАО «Диаконт», 2011г.

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

**ВЫДЕЛЕНИЕ В САР ПТ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ:
ЭЛЕКТРОННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ И ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ
(ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ИЛИ МЕХАНИЧЕСКОЙ) ЧАСТИ.
ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ
ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЧАСТИ САР**

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

Задачей любой системы регулирования турбины является приведение в соответствие мощности, развиваемой турбиной, с внешней нагрузкой электрического генератора. Это достигается применением регулятора частоты вращения, который контролирует частоту вращения турбины и при отклонении ее от заданного значения управляет клапанами, регулирующими подачу пара в турбину.

Выделение составных частей. Принципиальная схема регулирования конденсационных турбин КТЗ показана на рис. 1. Ее основные элементы: центробежный масляный насос 1, являющийся датчиком частоты вращения ротора турбины и поэтому называемый насосом-регулятором; трансформатор давления (ТД) 3, преобразующий изменения давления насоса-регулятора в усиленный импульс, подаваемый в импульсную линию, которая воздействует на отсечной золотник 4, управляющий главным сервомотором 5, перемещающим регулирующие клапаны турбины и возвращающим отсечной золотник в среднее положение с помощью обратной связи 6, масло-струйный инжектор 10, создающий небольшое избыточное давление во всасывающей линии насоса-регулятора и подающий масло на смазку подшипников.

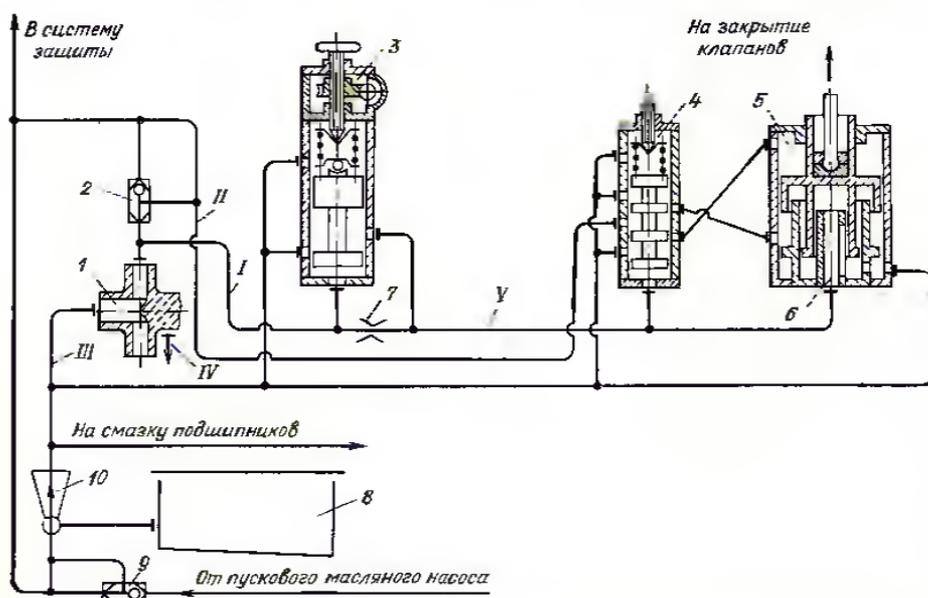


Рис. 1.

Описание основных узлов конструкции. Принципиальная схема сервомотора с отсечным золотником приведена на рис.2. Масло из напорной линии главного масляного насоса с давлением p_1 подводится к средним окнам золотника и в зависимости от направления его смещения из среднего положения поступает в ту или иную полость цилиндра сервомотора. Одновременно противоположная полость через крайние окна в буксе золотника соединяется со сливной линией с давлением p_2 .

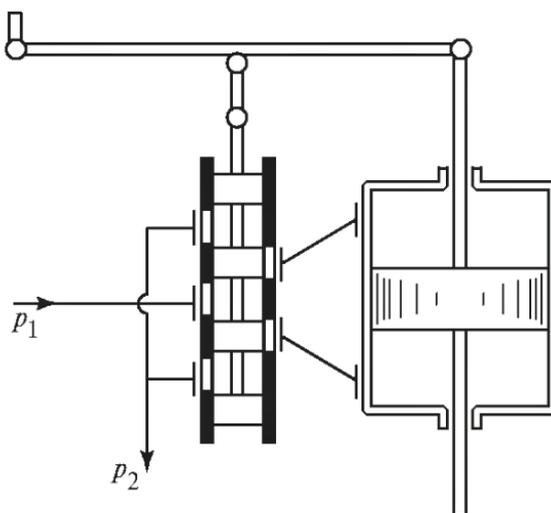


Рис. 2. Принципиальная схема двухстороннего сервомотора с отсечным золотником

Когда золотник находится в среднем положении, его поршни отсекают подвод масла к полостям сервомотора и расход рабочей жидкости определяется только неизбежными утечками.

Рассматриваемый сервомотор выполнен с двухсторонним, так как развиваемое им усилие при движении как в одну сторону, так и в другую сторону создается рабочей жидкостью, подводимой в соответствующую полость цилиндра сервомотора.

Если поршеньки отсечного золотника закрывают окна ,перекрытия и обеспечена достаточно высокая плотность золотника (выбором малых радиальных зазоров) и сервомотора (например, установкой поршневых уплотнительных колец), то при любом, даже малом, смещении золотника из среднего положения на неподвижный поршень сервомотора действует полный перепад давления $p_1 - p_2$ и на поршне возникает усилие $S = F(p_1 - p_2)$, где F - активная площадь поршня (за вычетом площади штока).

Для преодоления усилий, действующих на регулирующие органы турбины, достаточна лишь часть этого усилия S_1 . Остающийся в запасе избыток силы $S - S_1$ может быть использован для преодоления сил трения штоков регулирующих клапанов, в сочленениях механической передачи от

сервомотора, а также сил инерции, возникающих при ускорении движущихся масс элементов системы регулирования и парораспределения. Именно эта замечательная способность сервомотора с отсечным золотником преодолевать значительные дополнительные силы сопротивления, которые могут возникать и возникают при эксплуатации, делает однозначным выбор этого типа сервомотора в качестве главного. [1]

Современные системы автоматического регулирования паровых турбин, реализованные на базе новейших средств автоматизации и КИПиА, по сравнению с гидродинамическими САР, позволяют поддерживать на порядок лучшие точностные характеристики давлений пара в отборах (для турбин ПТ), давления за турбиной (для турбин Р), частоты и мощности, обеспечивая удержание частоты вращения ротора турбины ниже уровня настройки бойкового автомата безопасности даже при 100% сбросах нагрузки рис. 3. [2]



Рис. 3. Блочная турбогенераторная установка мощностью 10 МВт (Т-10-5,2) производства КТЗ, оснащённая современной системой автоматического регулирования, на заводском испытательном стенде

Список литературы

[1] Паровые турбины малой мощности КТЗ / Кирюхин В.И., Тараненко Н.М., Огурцова Е.П. и др. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.

[2] Шавлович З.А. Совершенствование конструкций и режимов работы гидравлических приводов в системах регулирования гидротурбин. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. С.-Петербург, 2004 г. – 22 с.

Мурзин Фарид Муратович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: farid_murzin@mail.ru

Сизов Александр Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры К2-КФ КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sizov_an@ktz.power-m.ru

Н.А. Ананьев, О.Г. Шитохина

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ КОНИЧЕСКОГО РОТОРА С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА FLOWVISION

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

Вихревые насосы получили широкое распространение во многих отраслях промышленности благодаря многим положительным качествам, таким, как хорошая самовсасывающая способность, что позволяет использовать их для подачи легкоиспаряющихся жидкостей, а также в системах, в которых требуется создать высокий напор при малой подаче. Характеристики вихревого насоса значительно отличаются от характеристик центробежного насоса. При одинаковом размере вихревые насосы способны создавать давление в 3-7 раз больше, чем центробежные [1]. Также конструкция вихревого насоса проще, что уменьшает его цену по сравнению с центробежным. Однако, вихревые насосы имеют существенный минус. По сравнению с центробежными насосами вихревые имеют значительно более низкий КПД, не превышающий 45% в рабочем режиме. Кроме того, насосы данного типа нельзя использовать для подачи жидкости, насыщенной абразивными частицами [2]. Для создания вихревых насосов с улучшенными показателями необходимо рассмотреть картину течения жидкости и исследовать влияние геометрических параметров проточной части насоса на его характеристики.

Целью данной работы является исследование обтекания конического ротора, одного из основных элементов конструкции вихревого насоса [3], с помощью вычислительных методов моделирования гидродинамических процессов, использующих пакет программ конечно-элементного анализа на основе уравнений Навье-Стокса.

Расчеты проводились для конического и цилиндрического роторов, расчетные объемы которых приведены на рис.1 и рис. 2, при одинаковых начальных условиях: скорость жидкости на входе 4 м/с, давление жидкости на входе $p = 1,01 \cdot 10^5$ Па; температура $t = 20^\circ\text{C}$, плотность жидкости $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

В ходе исследования были получены значения скорости жидкости на выходе из расчетного объема для различных вариантов конструкции ротора и проведена оценка влияния ряда конструктивных параметров на скорость жидкости.

При одинаковом числе оборотов ротора $n = 1500$ об/мин и скорости на входе в проточную часть 4 м/с в цилиндрическом роторе на выходе скорость увеличилась до 5 м/с, а в коническом роторе, при такой же входной скорости, выходная скорость увеличилась до 7 м/с. Это говорит о том, что для получения большего напора целесообразнее использовать конический ротор.

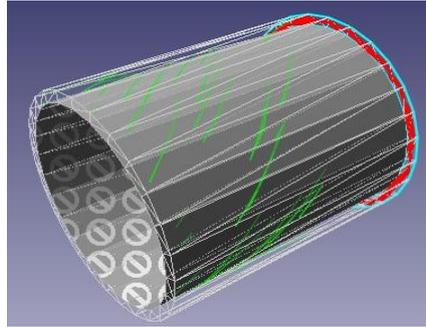


Рис. 1. Расчетный объем для цилиндрического ротора

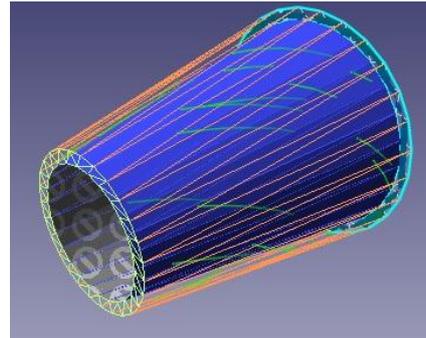


Рис. 2. Расчетный объем для конического ротора

Увеличение скорости вращения ротора приводит к повышению скорости жидкости в выходном сечении. Так, при моделировании обтекания неподвижного ротора, скорость жидкости на выходе составила 6,7 м/с, при числе оборотов ротора $n = 1500$ об/мин – 7 м/с, а при 3000 об/мин – 8 м/с.

В ходе работы было также исследовано влияние расположения и количества глухих сферических отверстий на поверхности конического ротора на величину скорости на выходе из проточной части.

В роторе с одним отверстием на входе (рис. 3) значение скорости на выходе составило 7,005 м/с, то есть увеличилось не значительно, по сравнению с показателями ротора без отверстий, на 0,005 м/с. Однако, увеличение скорости все-таки произошло, что позволяет судить о том, что наличие глухих сферических отверстий положительно сказывается на напоре.

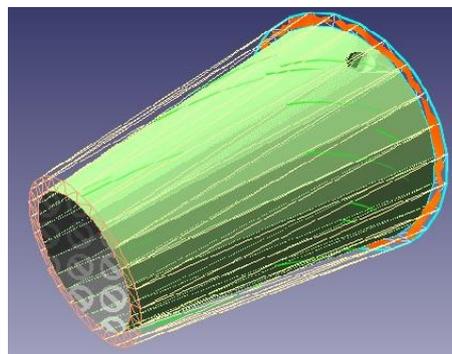


Рис. 3. Ротор с одним сферическим отверстием на входе

В роторе с отверстием на выходе (рис. 4) значение скорости получилось таким же, как для ротора с отверстием на входе, что позволяет говорить о том, что расположение глухих сферических отверстий не влияет на выходную скорость жидкости.

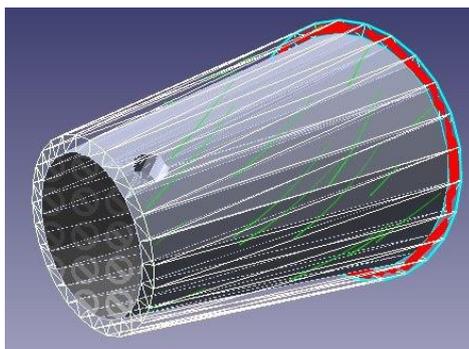


Рис. 4. Ротор с одним сферическим отверстием на выходе

В результате расчета обтекания ротора с рядом из шести отверстий (рис.5) получено значение скорости жидкости на выходе 7,155 м/с, что на 0,15 м/с больше, чем скорость на выходе ротора с одним отверстием. Следовательно, количество отверстий оказывает более существенное влияние на скорость на выходе, чем расположение отверстий.

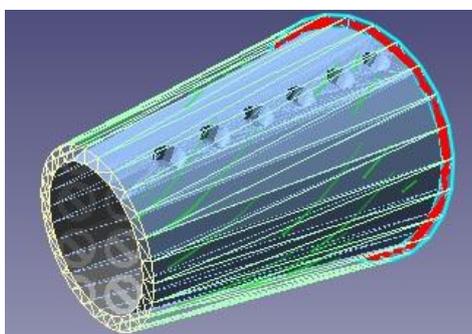


Рис. 5. Ротор с рядом сферических отверстий

По результатам данного исследования можно сделать вывод, что факторами, оказывающими наиболее существенное влияние на скорость жидкости в выходном сечении ротора, а, следовательно, и на напор, являются форма ротора, скорость его вращения и количество глухих отверстий на поверхности ротора.

Список литературы

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

[2] Ванеев С.М., Марцинковский В.С., Гриценко В.Г., Овсейко И.В. Вихревые турбомашин для сжимаемых сред // Компрессорная техника и пневматика. Москва, № 3, 2002. – С. 2.

[3] Анкудинов А.А., Волчкова Е.В., Коротков В.В. Исследование характеристик вихревого нагнетателя с цилиндрическим ротором// Успехи современной науки, №11, том 5, 2016. – С. 27-31.

Ананьев Никита Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nikit.ananjev2013@yandex.ru

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

Р.В. Савин, В.Ю. Савин

КОРРЕКТИРОВКА ПРОФИЛЯ СТАТОРА С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ШУМА В ПЛАСТИНЧАТЫХ НАСОСАХ

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

Простота, надежность конструкции, компактность обусловили широкое использование пластинчатых насосов и гидромоторов в современном машиностроении.

Одним из основных расчетов при проектировании пластинчатого гидронасоса двойного действия является расчет кривой профиля статора.

При выборе кривой профиля статора насоса должны быть удовлетворены два требования: перемещение пластин в пазах ротора должно происходить плавно с постоянным ускорением, что исключает возможность ударов пластин о статор; центростремительное ускорение пластины ω_n должно превышать относительное ускорение $d^2\rho/dt^2$ на величину, произведение которой на массу пластины достаточно для преодоления силы ее трения в пазу ротора [1].

Одним из вариантов, удовлетворяющих этим требованиям является кривая профиля статора, обеспечивающая постоянное ускорение пластины относительно ротора (рис. 1).

Уравнение кривой при изменении φ от нуля до $\alpha/2$ запишется следующим образом:

$$\rho = r_0 + \frac{2(R-r_0)}{\alpha^2} \phi^2 \quad (1)$$

Уравнение кривой при изменении φ от $\alpha/2$ до α :

$$\rho = 2r_0 - R + \frac{4(R-r_0)}{\alpha} \left(\phi - \frac{\phi^2}{2\alpha} \right) \quad (2)$$

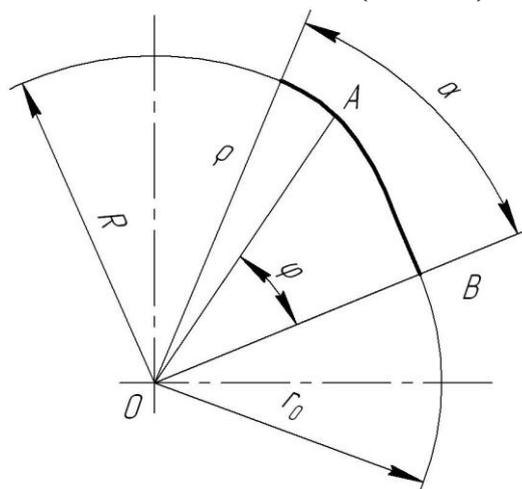


Рис. 1. Профиль статора пластинчатого насоса двойного действия, обеспечивающий постоянное ускорение пластины относительно ротора

При разработке профиля кривой статора пластинчатого насоса стоит учесть еще один критерий – уровень шума насоса. Одним из источников повышенного шума в насосе является резкое мгновенное сжатие рабочей жидкости при переходе из полости всасывания в полость нагнетания [2].

Для уменьшения уровня шума гидронасоса вследствие мгновенного сжатия целесообразно применить механизм предварительного сжатия жидкости.

На рисунке 2а показана схема развертки кривой профиля статора, рассчитанного с использованием уравнений 1 и 2 исходя из условия постоянного ускорения пластины относительно ротора.

На базе данной схемы построена схема развертки кривой профиля статора, выполненного с незначительным уменьшением объема камеры на участке большого радиуса R (рис. 2б).

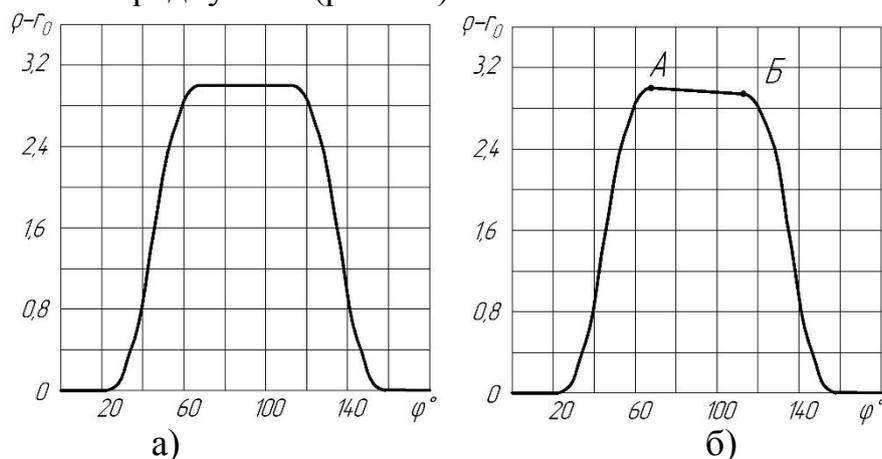


Рис. 2. Схемы разверток кривых профилей статоров:

- а) - исходя из условия постоянного ускорения пластины относительно ротора;
б) - с уменьшением объема камеры на участке большого радиуса R

В результате получена кривая профиля статора, на участках большого радиуса $A-B$ которого осуществляет незначительное уменьшение объема камеры, в результате чего рабочая жидкость, заключенная в этой камере, при переносе от полости нагнетания к полости всасывания предварительно сжимается. Такое предварительное сжатие способствует уменьшению шума насоса, так как рабочая жидкость не подвергается столь резкому мгновенному сжатию при переходе из полости всасывания в полость нагнетания, как это имеет место при применении статоров с профилем, выполненным по схеме 2а.

Список литературы

- [1] Зайченко И.З., Мышлевский Л.М. Пластинчатые насосы и гидромоторы / И.З. Зайченко, Л.М. Мышлевский. - М.: Машиностроение, 1970, 229 с.
[2] Башта, Т.М. Объемные гидравлические приводы / Т.М. Башта [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 628 с.
[3] Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: справочник / В.К. Свешников. – М.: Машиностроение, 2008. – 640 с.

Савин Роман Викторович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: senior.saw2010@yandex.ru

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

Н.Ю. Васильчук, Ф.Л. Чубаров, А.В. Никитин

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАТНОГО КЛАПАНА-ЗАХЛОПКИ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ДЕМПФЕРОМ ДЛЯ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

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

Главной задачей данной модели является изучение спроектированного агрегата, проверка его работоспособности, а также для того, чтобы удостовериться в правильности испытания клапана в условиях натурального эксперимента.

Обозначим $x(t)$ – ход штока гидравлического цилиндра. Поскольку шток гидроцилиндра перемещаясь поворачивает захлопку, то максимальный ход поршня будет соответствовать повороту захлопки на 90 градусов или $\pi/2$ радиан.

Для составления уравнения движения рассмотрим баланс сил, действующих на поршень гидроцилиндра.

Положительные силы:

– сила давления масла, подаваемого в полость «а»: $A_a p_a(t)$

Отрицательные силы:

– инерционная сила подвижных частей клапана $m_n \frac{d^2}{dt^2} x(t)$;

– сила давления со стороны дренажной линии, $A_o p_o(t)$;

– сила тяжести $m_n g$;

– сила вязкого трения, $K_{em} \frac{d}{dt} x(t)$;

– сила сухого трения $K_{cm} \text{sign}\left(\frac{d}{dt} x(t)\right)$;

– позиционная нагрузка $C_{np}(x(t) + x_{np})$;

– сила, вызванная вращением захлопки и перепадом давления пара на ней, $F_n(t)$;

Здесь $p_a(t)$ - давление в камере «а»; $p_o(t)$ - давление в дренажной линии; $x(t)$ - перемещение штока; A_a - площадь рабочей поверхности поршня со стороны камеры «а», A_o - площадь рабочей поверхности поршня со стороны дренажной линии; m_n - масса подвижных частей гидроцилиндра; g - ускорение свободного падения; K_{em} - коэффициент вязкого трения; K_{cm} - коэффициент сухого трения; C_{np} - жёсткость позиционной нагрузки(пружины); x_{np} - начальное поджатие пружины.

В результате получим уравнение:

$$A_a p_a(t) = m_n \frac{d^2}{dt^2} x(t) + A_o p_o(t) + m_n g + K_{em} \frac{d}{dt} x(t) +$$

$$+ K_{cm} \operatorname{sign} \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) + C_{np} (x(t) + x_{np}) + F_n(t)$$

Откуда:

$$m_n \frac{d^2}{dt^2} x(t) + K_{em} \frac{d}{dt} x(t) + C_{np} (x(t) + x_{np}) =$$

$$= A_a p_a(t) - A_o p_o(t) - m_n g - K_{cm} \operatorname{sign} \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) - F_n(t)$$

Найдём силу $F_n(t)$, которая действует со стороны захлопки на шток гидроцилиндра. Для этого рассмотрим все отрицательные моменты, действующие на захлопку (рисунок 1)

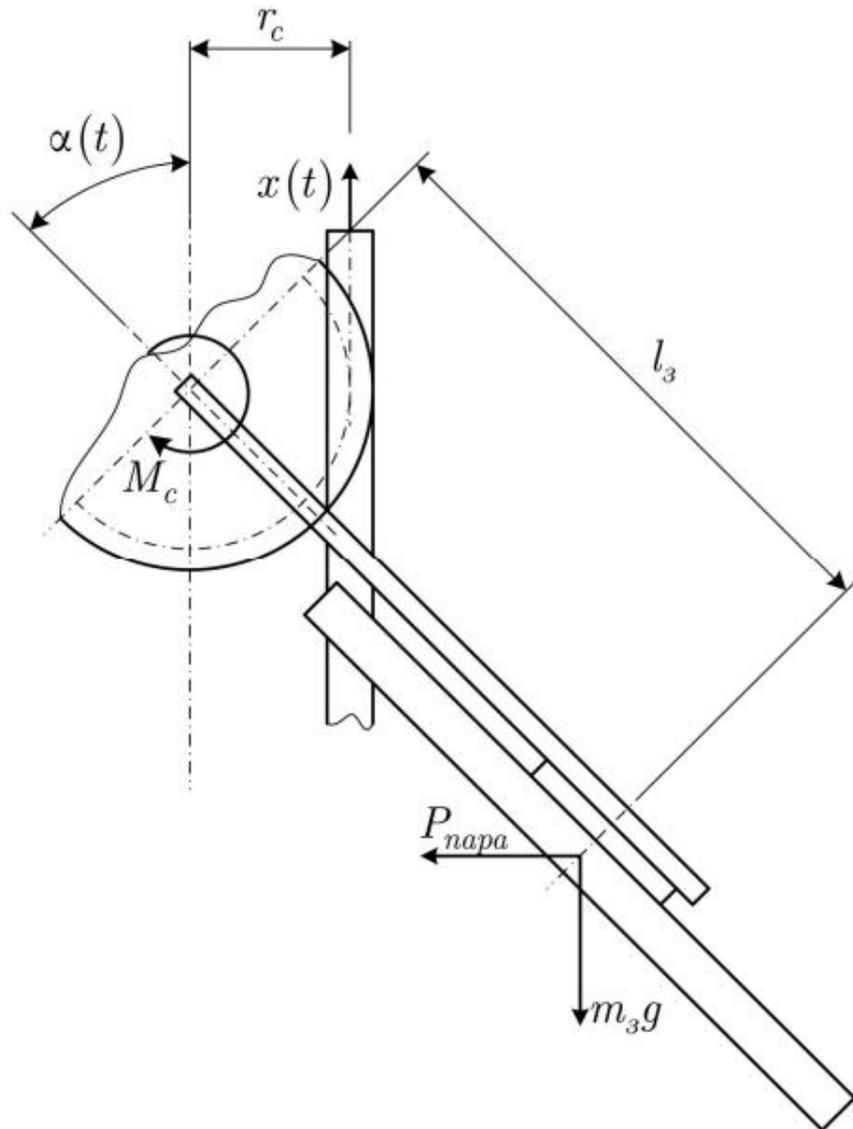


Рис. 1. Силы действующие, на захлопку при открытии

При движении поршня вверх, очевидно, все моменты будут отрицательными. К этим моментам можно отнести следующие:

- инерционный момент захлопки относительно оси вращения:
- $J_3 \frac{d^2}{dt^2} \alpha(t)$, где $J_3 = m_3 l_3^2$ (здесь m_3 - масса захлопки, l_3 - расстояние от центра массы захлопки до оси вращения);
- момент силы вязкого трения, возникающий в оси вращения:
- $K_{em}^3 \frac{d}{dt} \alpha(t)$, где K_{em}^3 - коэффициент вязкого трения в шарнире;
- момент силы тяжести:
- $m_3 g \cdot l_3 \sin(\alpha(t))$
- момент силы, возникающей из-за перепада давления пара на захлопки, который можно найти следующим образом:
- $\Delta p_{напа} \cdot \frac{1}{4} D_3^2 \cdot \cos(\alpha(t)) \cdot l_3 \cdot \cos(\alpha(t))$, где D_3 - диаметр захлопки.

С учётом найденных моментов, находим $F_H(t)$:

$$F_H(t) = \frac{1}{r_c} \left[J_3 \frac{d^2}{dt^2} \alpha(t) + K_{em}^3 \frac{d}{dt} \alpha(t) + m_3 g \cdot l_3 \sin(\alpha(t)) + \Delta p_{напа} \cdot \frac{1}{4} D_3^2 \cdot \cos(\alpha(t)) \cdot l_3 \cdot \cos(\alpha(t)) \right]$$

С учётом ранее полученного уравнения и учитывая, что $x(t) = r_c \alpha(t)$ запишем уравнение баланса всех сил, которое и является уравнением движения поршня захлопки:

$$\begin{aligned} m_n r_c \frac{d^2}{dt^2} \alpha(t) + K_{em} r_c \frac{d}{dt} \alpha(t) + C_{np} r_c \alpha(t) = \\ = A_a p_a(t) - A_o p_o(t) - m_n g - K_{cm} \operatorname{sign} \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) - C_{np} x_{np} - \\ - \frac{1}{r_c} \left[J_3 \frac{d^2}{dt^2} \alpha(t) + K_{em}^3 \frac{d}{dt} \alpha(t) + m_3 g \cdot l_3 \sin(\alpha(t)) + \Delta p_{напа} \cdot \frac{1}{4} D_3^2 \cdot \cos^2(\alpha(t)) \cdot l_3 \right] \end{aligned}$$

Или

$$\begin{aligned} \left(m_n r_c + \frac{J_3}{r_c} \right) \frac{d^2}{dt^2} \alpha(t) + \left(K_{em} r_c + \frac{K_{em}^3}{r_c} \right) \frac{d}{dt} \alpha(t) + C_{np} r_c \alpha(t) = \\ = A_a p_a(t) - A_o p_o(t) - m_n g - K_{cm} \operatorname{sign} \left(\frac{d}{dt} x(t) \right) - C_{np} x_{np} - \\ - \frac{1}{r_c} \left[m_3 g \cdot l_3 \sin(\alpha(t)) + \Delta p_{напа} \cdot \frac{1}{4} D_3^2 \cdot l_3 \cdot \cos^2(\alpha(t)) \right] \end{aligned}$$

Последнее уравнение и есть уравнение, которое описывает динамику захлопки с гидроцилиндром при открытии.

А.А. Анкудинов, Ю.Ю. Мисягина, А.А. Зубов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЛАБИРИНТНОГО НАСОСА

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

В данной работе проведено моделирование течения потока жидкости в проточной части лабиринтного насоса с использованием пакета ANSYS.

Введение. Одна из тенденций современной электроники – уменьшение габаритов устройств при одновременном росте требований к их производительности и надежности. Но размещение большого числа электронных модулей на малой площади приводит к интенсивному нагреву. Поэтому, чем миниатюрней электронное устройство, тем актуальнее для него проблема эффективного охлаждения. [1]

В данной работе используется жидкостная система охлаждения. Необходимым и самым важным элементом такой системы охлаждения является насос. Для выбора насоса руководствовались предоставленными параметрами и требованиями, согласно которым необходимо было выбрать насос, рассчитанный на сравнительно высокие напоры и малые расходы жидкостей. Таким вариантом, удовлетворяющим данным требованиям, оказался лабиринтный насос. [2]

Постановка задачи. Рассматривается модель лабиринтного насоса. Геометрия модели представляет собой шнек и винтовую решетку. Перекачиваемая среда - вода. Частота вращения ротора составляет 2950 об/мин. Объектами исследования являются скорости потоков жидкости. [3]

Результаты моделирования. В ходе данной работы была рассмотрена модель лабиринтного насоса. В программном комплексе САПР SolidWorks были построены модели шнека и неподвижной решетки, а затем выполнено моделирование в программном комплексе ANSYS CFX.

Геометрия модели насоса представлена на рисунке 1.

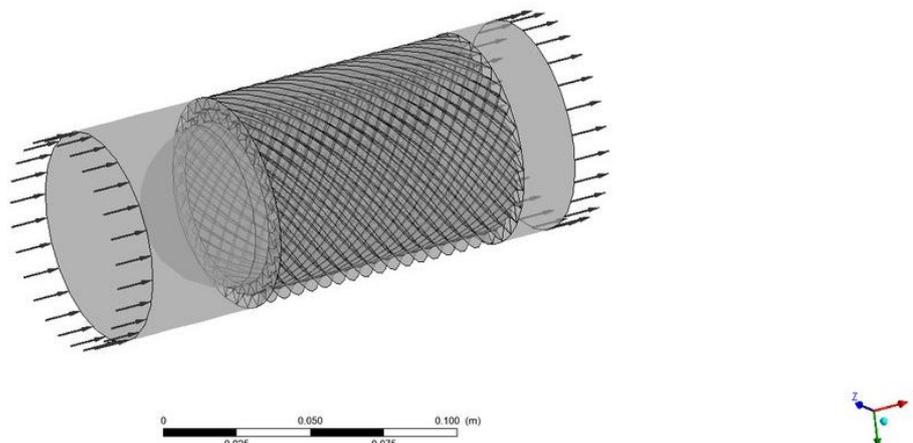


Рис. 1. Геометрия модели насоса

По результатам моделирования получены распределения скоростей течения жидкости в проточной части лабиринтного насоса, представленные на рисунках 2,3.

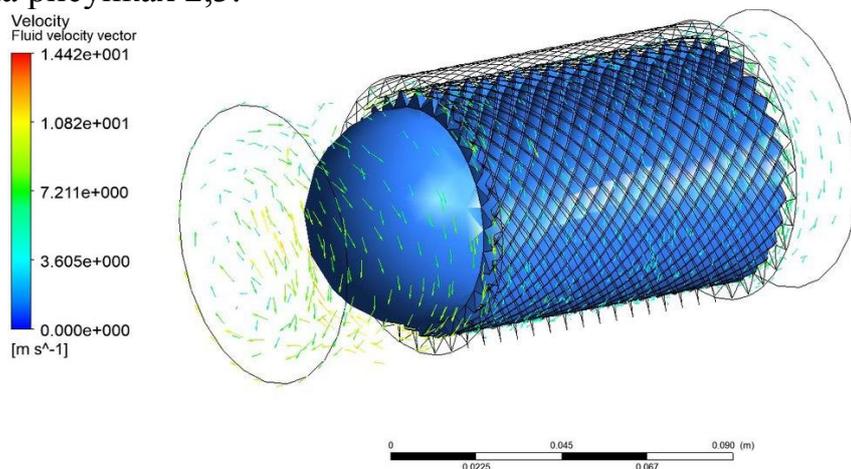


Рис. 2. Распределение векторов скорости течения жидкости вблизи цилиндра

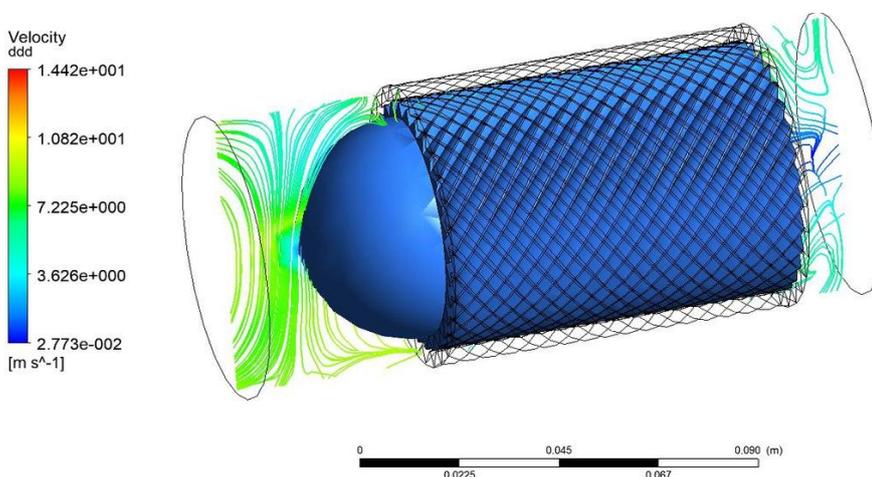


Рис. 3. Поле скоростей течения жидкости

Высокая информативность результатов моделирования способствует более глубокому анализу процессов, протекающих в каналах различной формы.

Список литературы

[1] Шостаковский П. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники // Силовая электроника. 2009. № 12. С. 120–126.

[2] Голубев А.И. Лабиринтно-винтовые насосы и уплотнения для агрессивных сред. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981 – 112 с.

[3] Зотов Б.Н., Анкудинов А.А. Осевихревой насос. Патент РФ 2014509.

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

Мисягина Юлия Юрьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: misyagina1994@mail.ru

Зубов Александр Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zubovshura@mail.ru

А.А. Зубов, А.А. Анкудинов, Ю.Ю. Мисягина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ОСЕВИХРЕВОГО НАСОСА

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

Конструкция осевихревого насоса. ОВС представляет собой насос, состоящий из осевого колеса и размещенной на его периферии неподвижной винтовой решетки, ход нарезки лопастей которой противоположен ходу лопастей шнека. Преимущества ОВС проявляются наиболее значительно при подачах, меньших оптимальной. [3].

Название осевихревая ступень отражает принцип её работы, т.е. процесс увеличения давления происходит и как у обычного шнека, и за счет вихревого взаимодействия жидкости с подвижными и неподвижными каналами.

Основными геометрическими параметрами, от которых зависят энергетические параметры ОВС, являются осевая длина, геометрия лопастной решетки осевого колеса и неподвижных винтовых каналов: их высота, угол установки и другие геометрические параметры, а также частота вращения и плотность жидкости.

Постановка задачи. Рассматривается модель осевихревого насоса. Геометрия модели представляет собой шнек диаметром 240 мм и осевой длиной 100 мм; внешний диаметр решетки – 280 мм; зазор $\delta = 1$ мм. Во входной патрубке подаётся несжимаемая жидкость – вода, давление на входе – атмосферное. Частота вращения ротора составляет 2950 об/мин. Объектами исследования являются скорости потоков жидкости.

Результаты моделирования. В ходе данной работы была рассмотрена модель осевихревого насоса. В программном комплексе САПР SolidWorks были построены модели шнека и неподвижной решетки, а затем выполнено моделирование в программном комплексе ANSYS CFX.

В результате моделирования получено поле скоростей в проточной части осевихревого насоса (Рис. 2) и линии тока в неподвижной решетке (Рис. 3).

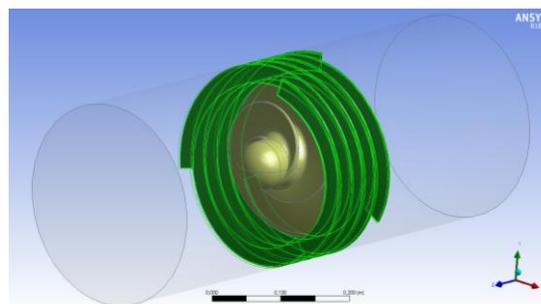


Рис. 1. Модель насоса

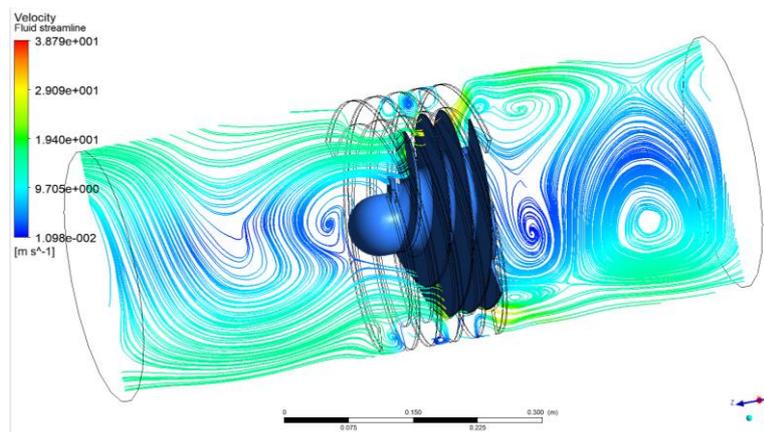


Рис. 2. Поле скоростей

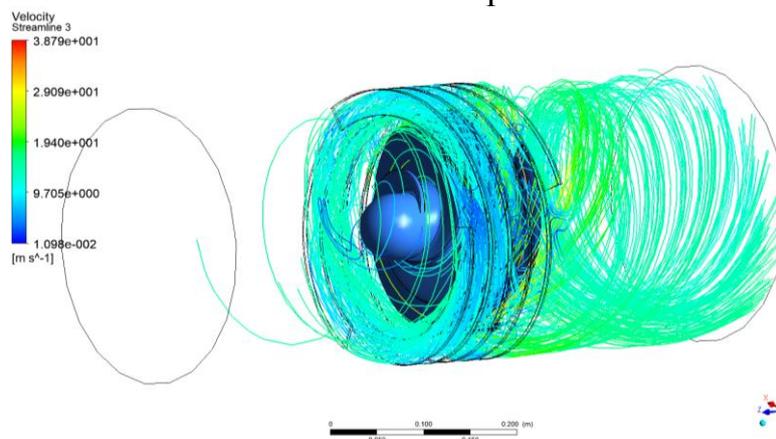


Рис. 3. Линии тока в проточной части

Список литературы

[1] Руднев С.С., Панаиотти С.С., Наймушин А.Л. Расчет всасывающей способности осевого колеса лопастного насоса // Исследование и конструирование гидромашин. М.: Энергия. 1980. С. 3–20.

[2] Мелашенко В.И., Савельев А.И. Расчет шнекоцентробежной ступени насоса: учебное пособие. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. 64 с.

[3] Зотов Б.Н., Анкудинов А.А. Осевихревой насос. Патент РФ 2014509.

Зубов Александр Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zubovshura@mail.ru

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

Мисягина Юлия Юрьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: misyagina1994@mail.ru

А.В. Коськов

НАСОСЫ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

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

Сегодня в России сложилась достаточно сложная ситуация с обеспечением населения питьевой водой надлежащего качества. Сооружения водоподготовки, на которых используются традиционные методы и процессы, не всегда в состоянии обеспечить требуемую степень очистки воды. В полной мере это относится и к обеззараживанию воды – главному барьеру на пути передачи водных инфекций.

Также одной из главных проблем отечественного ВКХ является низкая энергоэффективность насосных станций.

Необходимость решения проблемы вызвана не только техническими причинами (крайний износ оборудования, сетей, коммуникаций), но и общим кризисом отрасли. Резкое изменение политической и экономической ситуации в стране привело к тяжелым последствиям, поскольку система водоснабжения была рассчитана на практически бесплатную электроэнергию, которая была доступна в советские времена. Сегодня отрасль не справляется с существующими реалиями, а неэффективность ее работы приводит к тому, что коммунальные платежи ложатся тяжелым бременем на плечи потребителей. Следствием нерационального использования насосных установок при перекачивании чистых вод является потеря в среднем 10% энергии. А в некоторых случаях показатели достигают от 25 до 50%. Решение этой проблемы кроется в проведении энергосберегающих мероприятий, целью которых является снижение потерь воды водопроводной и канализационной систем, а также потребление энергоресурсов в меньших объемах. [1]

Обоснование выбора насосного агрегата. В работе при выборе насосного оборудования были изучены как отечественные, так и зарубежные фирмы-производители. Замена имеющихся насосов дает возможность экономии электроэнергии. Основной целью оптимизации оборудования насосной станции является сокращение эксплуатационных затрат, а именно затрат на электроэнергию и обслуживание агрегата. Такие условия должны выполняться в результате рационального конструирования оборудования и проектирования станции в целом.

Расчетами подтверждена экономическая эффективность разработанной технологии. Срок окупаемости новой технологии составит четыре года, по истечению этого времени управление ГП «Калугаоблводоканал» бу-

дет экономить около одного миллиона рублей в год, за счет уменьшения эксплуатационных затрат.

У зарубежного насосного агрегата главное отличие в том, что у проектируемого насосного агрегата меньшая мощность, что позволяет экономить на электроэнергии, и значительно больший КПД. Вместо сальниковых уплотнений использованы торцовые уплотнения, а также подшипники скольжения вместо подшипников качения, применяемые специально для воды, которые не требуют обслуживания.

Базой для сравнения выбраны центробежные насосы 200Д/90Б (с ЧРП), 3В200х2, Д630-90, применяемые на насосной станции. Эти насосы работают не в оптимальных режимах и отличаются параметрами от проектируемого. Новый насос спроектирован на более оптимальные режимы работы. Главное отличие, что у проектируемого насосного агрегата меньшая мощность, что позволяет экономить на электроэнергии, и значительно больший КПД.

Список литературы

[1] Порядин А.Ф., Устройство и эксплуатация водозаборов. Б-ка работника жил.-коммун., хоз-ва.- М.: «Стройиздат», 2002 - 183 с.: ил.

[2] Анкудинов А.А., Волчкова Е.В., Коротков В.В. Исследование насосов// Успехи современной науки, №11, том 3, 2016. – С. 32-37.

Коськов Антон Валерьевич – ст. преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Anton-koskov@mail.ru

А.С. Кувшинов, С.С. Панайотти

НЕФТЯНОЙ МАГИСТРАЛЬНЫЙ НАСОС

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

Совместно с ВНИИАЭН (г. Сумы) модернизировалось рабочее колесо нефтяного магистрального насоса НМ–2500–230. Проточная полость насоса $n_s = 90$ показана на рис. 1.1. На расчетном режиме $Q/2 = 0,14 \text{ м}^3/\text{с}$, $n = 1485 \text{ об/мин}$, $H = 61 \text{ м}$. Рабочее колесо отлито из стали 25Л. Полуосевой входной участок и центробежный участки ОСЦК, условной границей которых служит меридиан $\varphi = 120^\circ$, профилируются на конформной диаграмме как единая лопастная система [1].

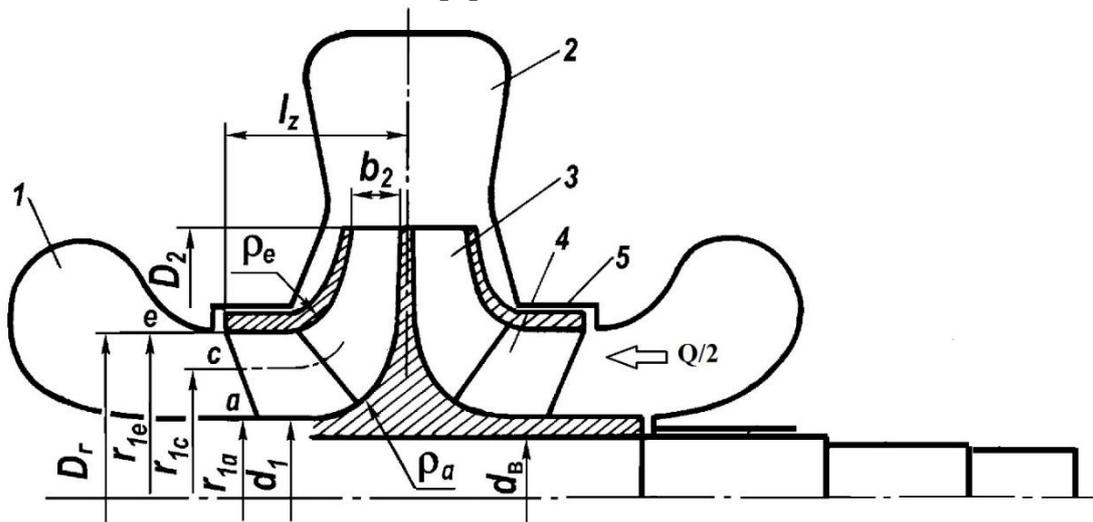


Рис. 1.1. Проточная полость насоса НМ–2500–230:

1 – полуспиральный подвод; 2 – спиральный отвод; 3 – центробежный участок колеса; 4 – входной шнековый участок колеса; 5 – щелевое уплотнение

Недостаток профилирования – это малый угол между меридианным сечением и поверхностью тока a , который составляет $\lambda_{\min} = 35^\circ$ (рис. 1.2а). Это способствует образованию наплывов металла в местах сопряжения лопасти с дисками колеса. Кроме того, уменьшается коэффициент стеснения, который при $\sigma_{1a} = 5,5 \text{ мм}$ составляет $\psi_{1a} = 0,75$. Поэтому в окончательном варианте толщина лопасти во втулочном сечении уменьшена до $\sigma_{1a} = 4 \text{ мм}$, что увеличило коэффициент стеснения до $\psi_{1a} = 0,81$. Эффективным способом уменьшения стеснения является также уменьшение числа лопастей на входном участке до $Z_1 = 3$ и переход к двухрядной решетке лопастей с параллельным расположением лопастей второго ряда. Однако вследствие ограничения, наложенного на осевую длину рабочего колеса $l_z \leq 0,125 \text{ м}$, в данном случае этот способ неприменим [2].

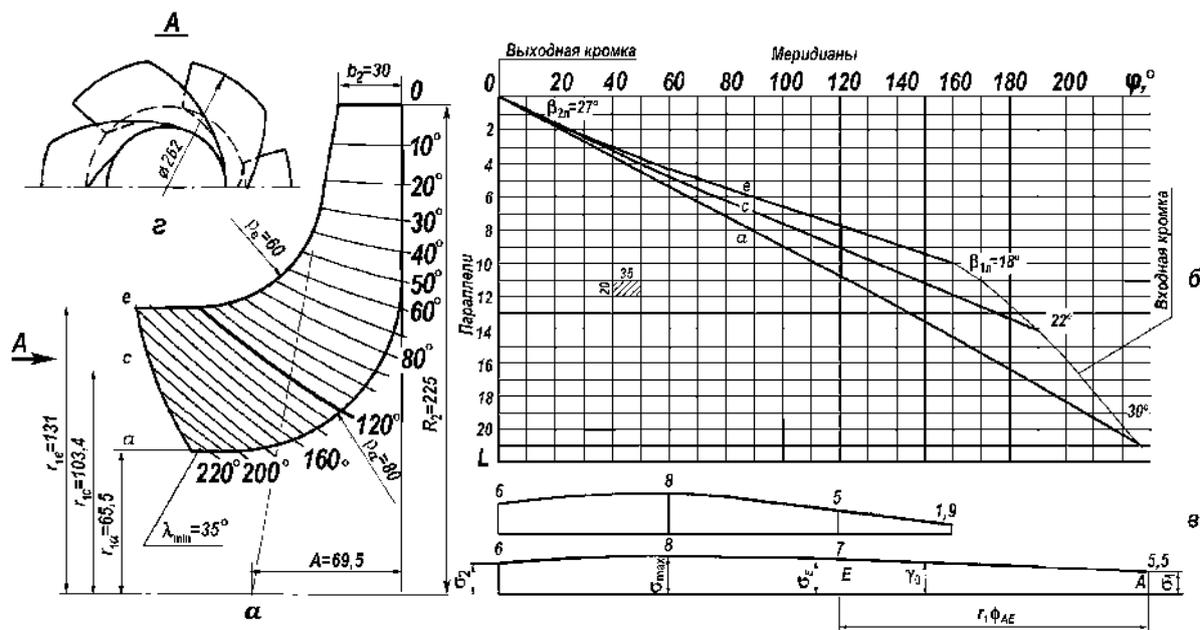


Рис. 1.2. Меридианные сечения средней поверхности лопасти (а), конформная диаграмма (б), график толщин лопасти (в), и полуосевой входной участок (г) ОСЦК насоса НМ–2500–230 (размеры в мм)

Если $Z_1 = 3$, то густота решетки $(L_1/T)_e = 0,35$, что представляется недостаточным. Как правило, входную кромку лопасти ОСЦК приходится располагать в разных меридианах. Для упрощения технологии изготовления входной и центробежный участки этого ОСЦК отливались и обрабатывались порознь. Неточности изготовления затрудняют стыковку лопастей обоих участков.

Поэтому при сборке лопасти входного участка повернуты относительно лопастей центробежного участка на $1/3$ углового шага в сторону вращения. Испытания насоса на воде представленные на рис. 1.3 и 1.4, показали, что на оптимальном режиме КПД равен 80%. При оптимальной подаче $Q = 0,138 \text{ м}^3/\text{с}$, втулочном отношении $\bar{d}_1 = 0,5$, относительной толщине входных кромок $\bar{\sigma}_{1c} = 0,03$ и коэффициенте приведенного входного диаметра $K_0 = 5$ спрофилированное ОСЦК обладает повышенными кавитационными качествами: $C_{3\%} = 1700$ [3].

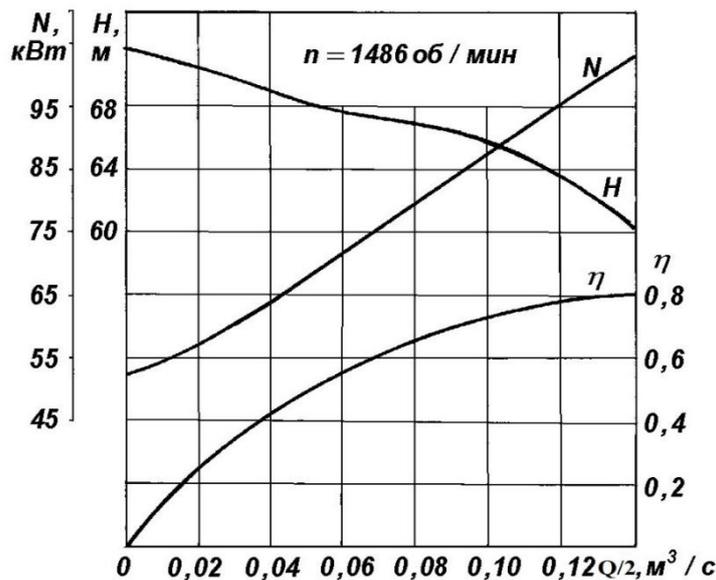


Рис. 1.3. Энергетическая характеристика насоса НМ–2500–230

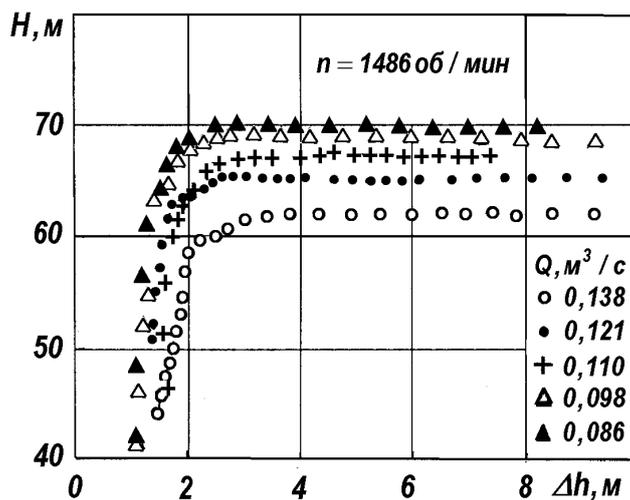


Рис. 1.4. Кавитационные характеристики насоса НМ–2500–230

Список литературы

- [1] Руднев С.С., Панайотти С.С., Наймушин А.Л. Расчет всасывающей способности осевого колеса лопастного насоса // Исследование и конструирование гидромашин. – М.: Энергия, 1980. – С. 3–20.
- [2] Гидравлика, гидромашин и гидроприводы / Под ред. Т.М. Башты и С.С. Руднева. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
- [3] Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. – М. – Л.: Машиностроение, 1966. – 364 с.

Панайотти Сергей Семенович – д-р техн. наук, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: panaiotti@post.ru

Кувшинов Александр Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alekc571015@yandex.ru

Ф.Л. Чубаров, А.В. Никитин, А.В. Регеда

СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ КОНТРОЛИРУЕМОЙ АТМОСФЕРЫ ПЫЛЕВЛАГОЗАЩИТНОГО ЧЕХЛА КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА

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

Избыточное давление внутри телескопа и пылевлагозащитного чехла (ПВЗЧ) необходимо поддерживать таким, чтобы оно обеспечивало равномерный продув телескопа азотом, не допуская областей пониженного давления вблизи тубуса телескопа и корпуса ПВЗЧ, чтобы даже в случае микроразгерметизации предотвратить попадание кислорода в оптическую систему телескопа.

Также важно добиться минимизации механических нагрузок на легкоповреждаемые элементы космического телескопа, имеющие пониженную жёсткость и прочность, такие как экранно-вакуумная теплоизоляция, нагреватели системы обеспечения теплового режима, поверхности зеркал оптической системы и светозащитные диафрагмы тубуса и бленд, т.к. значительные механические нагрузки могут создаваться вихревыми потоками, возникающими при подаче внутрь телескопа азота под высоким избыточным давлением. При определении оптимального избыточного давления внутри телескопа и ПВЗЧ был использован метод конечных элементов. Работа велась в два этапа: в САПР «SolidWorks» была построена трёхмерная модель внутреннего воздушного пространства телескопа и ПВЗЧ, а затем моделирование движения воздушных потоков (рис. 3) и расчёт поля установившегося избыточного давления (рис. 1, 2) были выполнены в программной среде «ANSYS CFX».

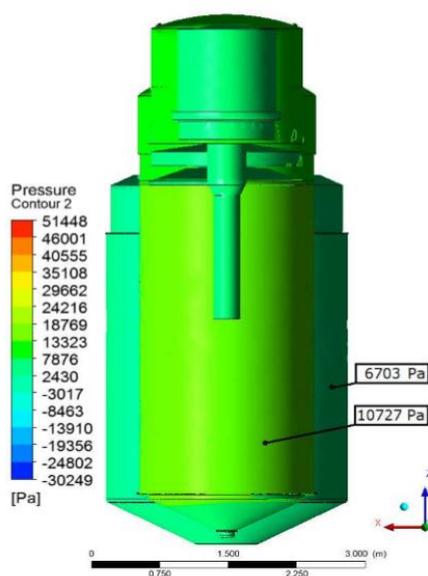


Рис. 1. Схема распределения избыточного давления внутри телескопа и ПВЗЧ

Расчёт методом конечных элементов показал, что наддув избыточным давлением 10 кПа является достаточным для равномерного распределения азота по всему объёму телескопа и ПВЗЧ и формирования внутри них установившегося давления, что минимизирует перенос пылевых частиц и концентрацию их около одного из элементов оптической системы телескопа.

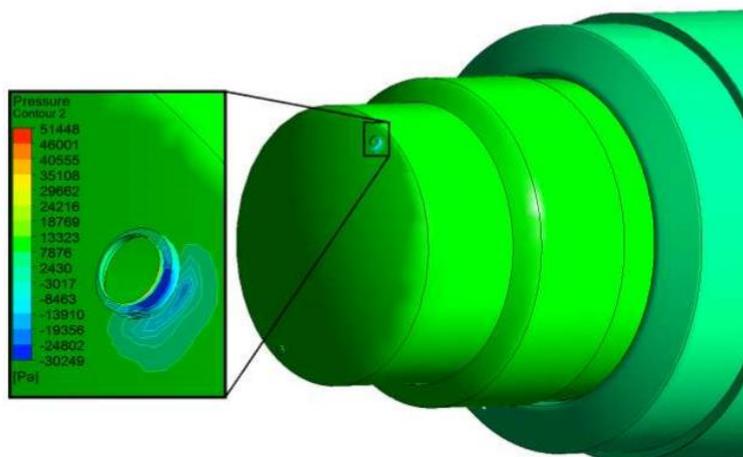


Рис. 2. Распределение избыточного давления вблизи входного отверстия

Падение избыточного давления, вызванное высокими скоростями движения потока азота, имеет место только в области входа потока азота в инструментальный отсек, и носит локальный характер. Существенного влияния на температуру атмосферы азота внутри телескопа и ПВЗЧ, на перемещение пылевых частиц и создание механических нагрузок на корпус инструментального отсека сформировавшаяся область разрежения не окажет. Расчёт скоростей потока азота на входе в инструментальный отсек показывает, что скорость потока азота недостаточна для образования турбулентного течения, поток имеет явно выраженный ламинарный характер, что минимизирует перемещение пылевых частиц внутри телескопа и ПВЗЧ, а также минимизирует нагрузки на легкоповреждаемые элементы космического телескопа, имеющие пониженную жёсткость и прочность.

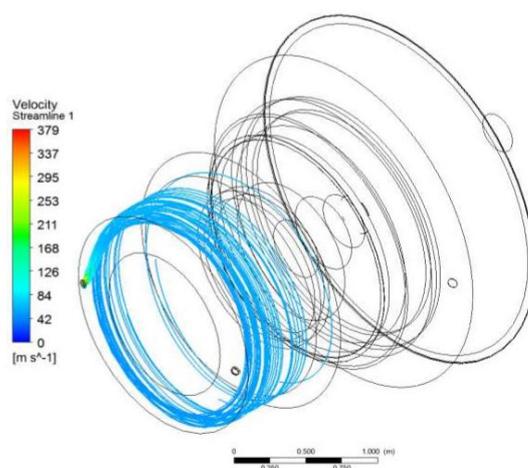


Рис. 3. Распределение скоростей потока азота на входе в инструментальный отсек

Пневматическая схема наддува азотом

Для обеспечения постоянства внутренней атмосферы телескопа и ПВЗЧ по физическим свойствам и химическому составу, а также автономности работы системы поддержания контролируемой атмосферы на случай внезапного отключения электропитания или транспортировки готового изделия авиационным транспортным средством был спроектирован агрегат наддува ПВЗЧ телескопа Т-170М, принципиальная пневматическая схема которого показана на рис. 3.

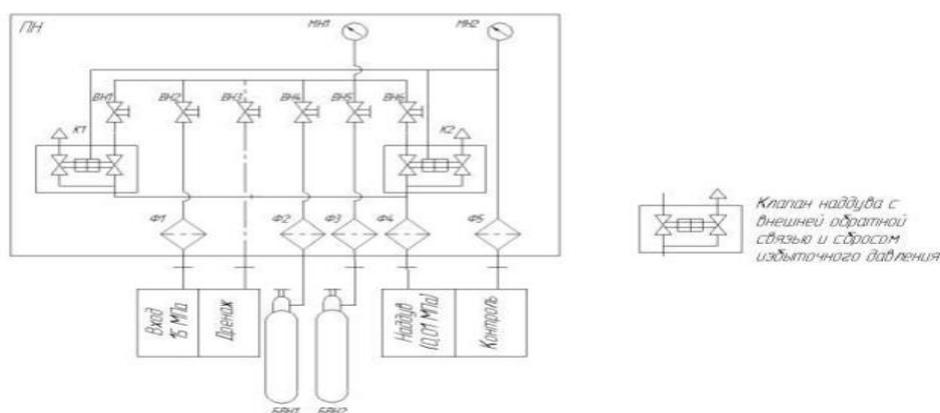


Рис. 4. Агрегат наддува ПВЗЧ телескопа Т-170М:

ПН – пульт наддува; БН – баллон для азота; ВН – вентиль; МН – манометр;
Ф – фильтр газовый; К – клапан

Работа агрегата наддува осуществляется по следующему алгоритму:

В заводских условиях азот поступает в систему из компрессора под давлением 15 МПа и фильтруется через фильтр. Во время транспортировки азот начинает поступать из баллонов, азот из баллонов фильтруется через фильтры. На выходе из ПВЗЧ стоит система контроля, которая при слишком низком давлении подает управляющее воздействие на клапан, чтобы тот увеличил давление на входе в ПВЗЧ, при этом система контроля снабжена газоанализатором, который проверяет состав внутренней атмосферы ПВЗЧ, и при повышенном содержании кислорода система также подает управляющее воздействие на повышение давления наддува.

Таким образом, проделанные расчёты свидетельствуют о том, что наддув избыточным давлением 10 кПа обеспечивает оптимальные условия сохранения оптических свойств поверхности зеркал космического телескопа, а также минимизирует нагрузки на легкоповреждаемые элементы телескопа.

Список литературы

- [1] НПО им. С. А. Лавочкина Журнал «Вестник». - 2014.-№5.
- [2] А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин «Гидравлические и пневматические системы». М.: Academia-2004.

Чубаров Федор Леонидович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedor1966chub@yandex.ru

Никитин Алексей Валерьевич – директор ГАПОУ КО "КТК". E-mail: kkitiu@rambler.ru

Регада Антон Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedor1966chub@yandex.ru

Е.С. Липин, С.С. Панаиотти

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСОЛЬНОГО НАСОСА

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

Задача работы. В данной работе ставилась задача произвести экспериментальные исследования опытного консольного насоса со следующими параметрами: $Q = 0,049 \text{ м}^3/\text{с}$, $H = 69 \text{ м}$, $n = 3000 \text{ об/мин}$, $n_s = 102$, $C_{III} = 1200$.

Экспериментальная установка и опытный насос. Исследования консольного насоса проводились на экспериментальной установке (рисунок 1).

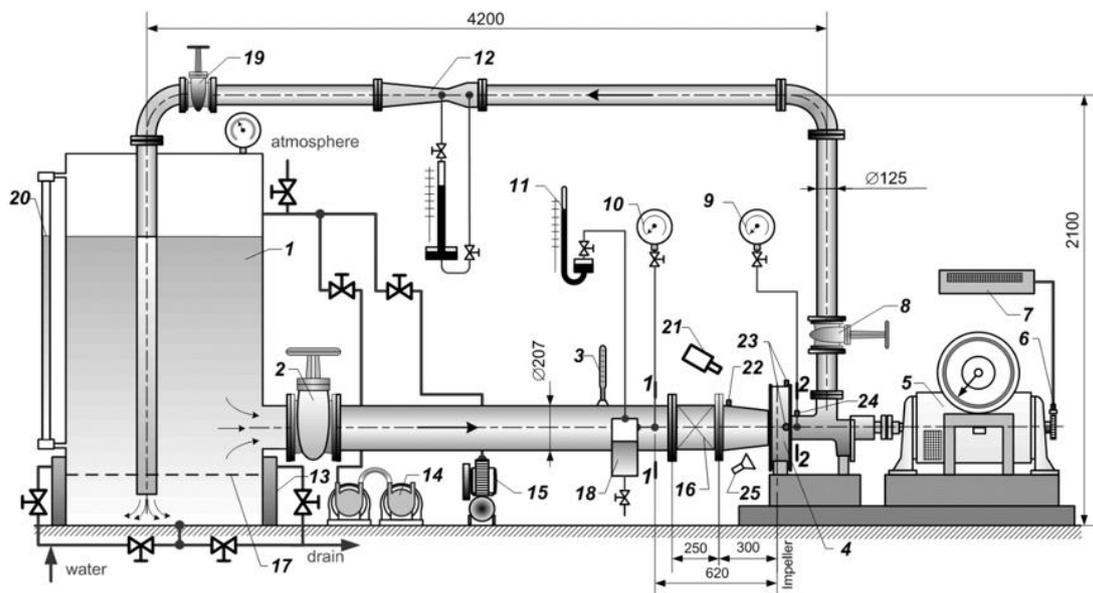


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – питающий бак $1,4 \text{ м}^3$; 2 – задвижка; 3 – термометр с ценой деления $0,1^\circ\text{C}$; 4 – экспериментальный насос; 5 – балансирующий электродвигатель; 6 – датчик частоты вращения; 7 – частотомер; 8 – регулирующая задвижка; 9 – манометр на нагнетании; 10 – манометр на всасывании; 11 – ртутный манометр абсолютного давления; 12 – расходомер Вентури; 13 – водяной холодильник; 14 – вакуумные насосы; 15 – компрессор; 16 – решетка пластин; 17 – экран; 18 – разделительный сосуд; 19 – задвижка; 20 – уровнемер; 21 – цифровая камера; 22 – датчик пульсаций давления РСВ 101А05 на входе; 23 – датчики виброускорения РСВ 335В02; 24 – датчик пульсаций давления на выходе; 25 – стробоскоп

Питающий бак 1 насосной установки заполняется водопроводной водой. Перед началом испытаний насоса вода в баке деаэрируется за счет длительной выдержки под высоким вакуумом. Давление жидкости на входе в насос измеряется манометром абсолютного давления 11 или образцовым пружинным манометром 10. Манометр 11 подключен к отверстию для

отбора давлений через разделительный сосуд. Чтобы предотвратить влияние обратных токов на входе в рабочее колесо при малых подачах на измеряемое давление, перед измерительным сечением в подводящем трубопроводе установлена густая решетка тонких радиальных пластин 16. Давление на входе в насос можно изменять в широких пределах, изменяя давление на свободной поверхности жидкости в питающем баке. Для этого к баку подключены поршневой компрессор 15 и водокольцевые вакуумнасосы 14.

Температура воды измеряется термометром 3. В контуре насосной установки она может регулироваться водяным холодильником 13. Уровень воды в питающем баке определяется по уровнемеру, давление на свободной поверхности жидкости контролируется мановакуумметром.

Подача насоса измеряется расходомером 12, снабженным ртутным дифференциальным манометром, и регулируется задвижкой 8. Чтобы обеспечить повышенное давление на участке расходомерного устройства и тем самым исключить в нем кавитацию, за расходомером установлена дополнительная регулировочная задвижка 19.

Напор насоса рассчитывается по показаниям манометров 9, 10 или 11 и скоростным напорам.

Кавитационный запас определяется по давлению, измеренному манометром 11, рассчитанному скоростному напору и давлению насыщенного пара воды. Последнее определяется по температуре воды на входе в насос.

Насос приводится во вращение балансирным электродвигателем постоянного тока 5 с весовым устройством, по показаниям которого определяется мощность, потребляемая насосом. Мощность двигателя 100 кВт, максимальная частота вращения 4000 об/мин.

Частота вращения насоса измеряется тахометром, который состоит из индукционного датчика 6 и показывающего прибора 7.

По прямолинейному трубопроводу вода подводится к прозрачному всасывающему патрубку 1 (рисунок 2). Далее она направляется в центробежное колесо 2 и лопаточный отвод 3. Из обратных каналов 4 отвода вода поступает в кольцевую камеру 6 и далее – в напорный патрубок 7. Центробежное колесо 2 установлено на консоли вала насоса 11. Вал вращается в двух гидродинамических подшипниках 5 и 10, которые питаются перекачиваемой водой. Подшипниковые втулки на валу выполнены из фторированной бронзы. Втулки в корпусе изготовлены из закаленной стали 20Х13. Эти подшипники выполняют не только роль опор, но и уплотнений вала, что упрощает конструкцию опытного насоса и уменьшает потери на трение в уплотнениях вала. Действующие на ротор насоса осевые силы воспринимаются двойным упорным шарикоподшипником 10, который расположен в корпусе 9, заполненном маслом.

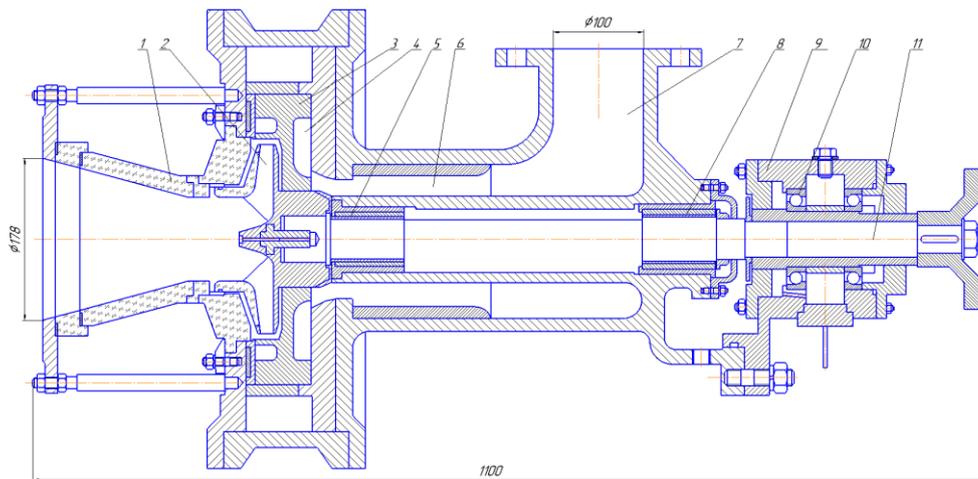


Рис. 2. Опытный насос:

1 – всасывающий патрубок; 2 – центробежное рабочее колесо; 3 – лопаточный отвод; 4 – обратные каналы; 5 – передний гидродинамический подшипник; 6 – кольцевой напорный канал; 7 – напорный патрубок; 9 – корпус; 10 – задний гидродинамический подшипник; 11 – вал

По методикам автоматизированного проектирования проточных полостей центробежных насосов рассчитана ступень опытного консольного насоса указанные выше параметры. Рабочее колесо рассчитано с использованием теории плоских гидродинамических решеток и решеток в слое переменной толщины. Расчет на кавитацию выполнен по теории струйного течения идеальной жидкости в решетках конечной толщины. Лопасты спрофилированы методом конформного отображения на цилиндр.

Опытная проточная часть насоса имеет прозрачный входной конфузор и прозрачную крышку из оргстекла. Консольное колесо имеет съемный прозрачный передний диск. Прозрачные элементы опытной ступени насоса позволяют визуально наблюдать течение жидкости.

Энергетические характеристики. Энергетические испытания опытного варианта ступени насоса проводились при постоянной частоте вращения $n = 3000$ об/мин. Чтобы полностью исключить кавитацию, на поверхности воды в питающем баке повышали избыточное давление так, чтобы кавитационный запас на входе в ступень составлял $\Delta h = 20...25$ м.

Проведены энергетические испытания опытной ступени насоса с консольным центробежным колесом. Толщина входных кромок лопастей $\sigma_1 = 1,8$ мм. Указанная толщина входных кромок лопасти соответствует российским нормам для литых рабочих колес.

Напорная характеристика непрерывно падающая. Оптимальный режим: $Q_{\text{отп}} = Q_{\text{расч}} = 0,049 \text{ м}^3/\text{с}$, $H_{\text{отп}} = 67$ м, $\eta_{\text{max}} = 82\%$. Обратные токи на входе появились при $Q_{cr} = 0,022 \text{ м}^3/\text{с}$ (рисунок 3).

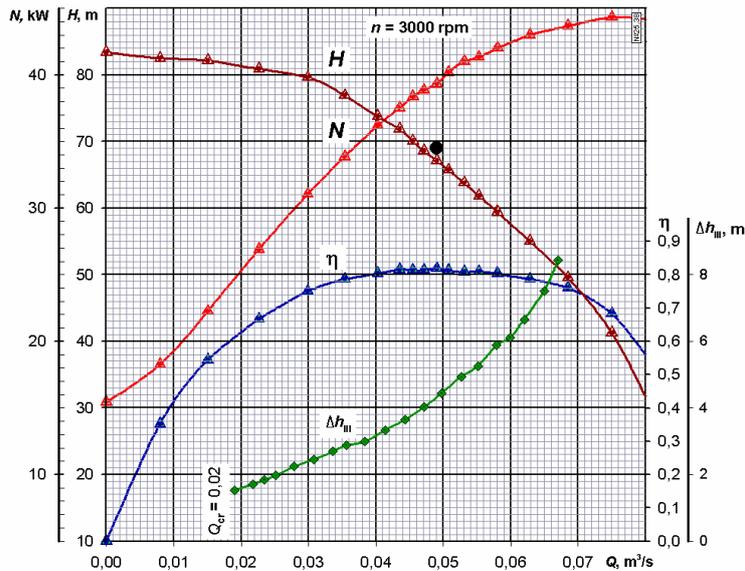


Рис. 3. Энергетическая характеристика консольного насоса:
 • – расчетный режим

Кавитационные характеристики. Построена кавитационная характеристика опытного консольного насоса (рисунок 4). Снижение напора началось при $\Delta h_I = 4,85$ м ($C_I = 1140$), при уменьшении напора на 3% кавитационный запас $\Delta h_{3\%} = 4,65$ м ($C_{3\%} = 1180$). Срыв работы ступени наступил при $\Delta h_{III} = 4,35$ м ($C_{III} = 1240$).

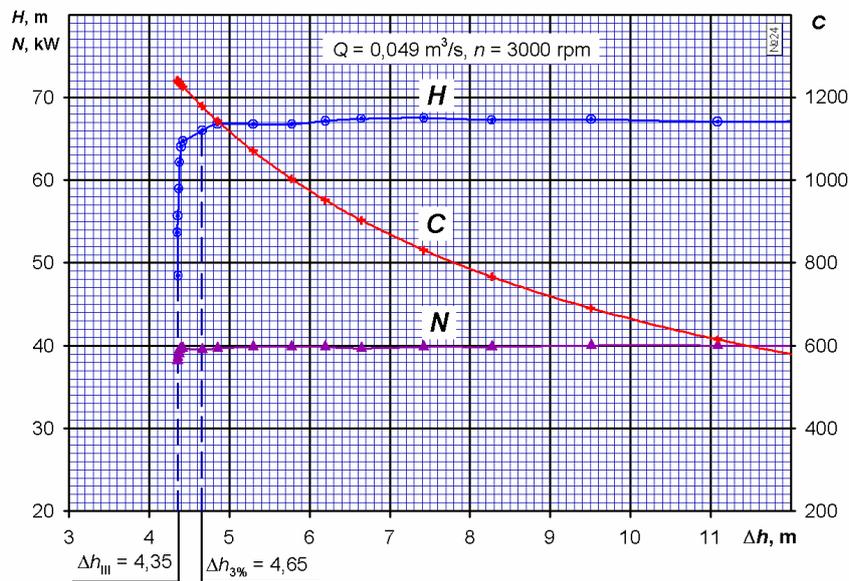


Рис. 4. Кавитационная характеристика ступени консольного насоса

Рабочее колесо, окрашенное лаком, выдержано в течении 120 минут на режиме $Q = 0,049$ м³/с, $n = 3000$ об/мин при кавитационном запасе $\Delta h = 7,8$ м ($C = 800$), соответствующем правой границе рабочего диапазона

кавитационных запасов. Разрушения лака на входных кромках, на обеих сторонах лопасти, на дисках и в других местах межлопаточного канала отсутствуют. На левой границе рабочего диапазона $\Delta h = 4,85$ м ($C = 1140$) лак на входном участке лопасти разрушается.

Выводы. Изложены экспериментальные исследования консольного насоса. Проведены энергетические испытания консольного насоса, а также построены энергетические и кавитационные характеристики. При сравнении с существующими консольными насосами имеет более высокий КПД и повышенные кавитационные качества [2].

Список литературы

[1] Панайотти С.С., Кузнецов А.В., Савельев А.И. Автоматизированное проектирование многоступенчатого центробежного насоса: Учебное пособие. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 188 с.

[2] Панайотти С.С., Савельев А.И. Автоматизированное проектирование одноступенчатого центробежного насоса / Учебное пособие. – Калуга, 2017. – 60 с.

[3] Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. – М. – Л.: Машиностроение, 1966. – 364 с.

[4] Руднев С.С. Кавитация в решетке профилей конечной толщины // Лопастные насосы. Л.: Машиностроение, 1975. – С. 198–209.

[5] Руднев С.С. Основы теории лопастных решеток. М.: Ротапринт МВТУ, 1976. – 78 с.

[6] Руднев С.С., Матвеев И.В. Методическое пособие по курсовому проектированию лопастных насосов. – М.: Ротапринт МВТУ, 1974. – 72 с.

[7] Степанов А.И. Центробежные и осевые насосы. – М.: Машгиз, 1960. – 464 с.

[8] Тимофеев Д.В., Савельев А.И., Панайотти С.С. Автоматизированное профилирование лопастей центробежных рабочих колес. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 68 с.

Липин Евгений Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: evgen.lipin8@yandex.ru

Панайотти Сергей Семенович – д-р техн. наук, профессор
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: panaiotti@post.ru

СЕКЦИЯ 10.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ю.С. Белов, А.В. Козина, А.И. Гришина, С.С. Гришунов

К ВОПРОСУ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ БОЛЕЗНЕЙ СЕРДЦА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

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

Введение. Сердечные заболевания всегда являлись одной из главных причин инвалидизации населения и снижения продолжительности жизни. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [1] в мире за последние десятилетия среди причин летальных исходов лидирующие позиции занимают сердечно-сосудистые заболевания (рис. 1).



Рис. 1. Основные причины летальных исходов на 2015 год

Несмотря на это, они являются наиболее предотвратимыми и контролируемыми заболеваниями [2]. Поэтому помимо полного и правильного лечения этих заболеваний, важна их своевременная диагностика [3].

В настоящее время в различных областях человеческой деятельности применяют сбор больших объемов данных современными компьютерными системами [4]. На основе анализа и обработки этих данных можно извлекать полезную информацию, делать соответствующие аналитические выводы и принимать обоснованные решения. В связи с большим объемом, «ручная» обработка этих данных становится довольно трудоемкой задачей. Для автоматизации данного процесса используют методы машинного обучения [5]. Использование методов машинного обучения для анализа медицинских данных способствует улучшению политики лечения, предотвращению ошибок, ранней диагностике, профилактике заболеваний и, как следствие, уменьшению смертности.

Ход работы. Данная работа состоит из двух этапов – выделения наиболее значимых атрибутов, по которым можно судить о наличии заболевания сердца и нахождении оптимальных методов классификации.

В качестве экспериментальных данных для интеллектуального анализа послужила база данных по сердечным заболеваниям из репозитория UCI ML [6]. Данные содержат 14 атрибутов (табл. 1) и 270 наблюдений. Для обучения модели использовались 80% данных, остальные 20% использовались для проверки.

Таблица 1

Атрибуты экспериментальных данных по сердечным заболеваниям	
Название	Описание
Age	Age in years (Возраст в годах)
Sex (Пол)	1=male (Мужской)
	0=female (Женский)
Cp	Chest pain type:(Тип боли в груди)
	1-typical angina (Типичная стенокардия)
	2-atypical angina (Атипичная стенокардия)
	3-non- angina pain (Ангинозная боль)
Trestbps	4-asymptomatic (Боль отсутствует)
	Resting blood pressure in (mm Hg)
	(Артериальное давление, мм рт.ст.)
Chol	Serum cholesterol in (mg/dl)
Fbs	(Уровень холестерина в крови, мг/дел)
	fasting blood sugar >120 (mg/dl)
	(Уровень сахара в крови >120 мг/дел)
Restecg	1=yes (Да) 0=no (Нет)
	Resting electrocardiographic results:
	(Электрокардиографические результаты без нагрузки - ЭКГ)
	0=normal (В пределах нормы)
Thalach	1-having ST-T wave abnormality (Нарушения волны ST-T)
	2=showing probable or defined ventricular hypertrophy
	(Подозрение на гипертрофию желудочка)
Exang	Maximum heart rate achieved
	(Максимальная частота сердечных сокращений)
Old peak ST	Exercise-induced angina: (Стенокардия, вызванная физическими упражнениями)
	1=yes (Да) 0=no (Нет)
Slope	Depression induced by exercise relative to rest
	(Депрессия сегмента ST на ЭКГ)
	The slope of the peak exercise segment:
	(Наклон пикового сегмента)
Ca	1=up sloping (Возрастает)
	2=flat (Фиксированный)
	3=down sloping (Убывает)
Thal (Тип дефекта)	Number of major vessels colored by fluoroscopy (Количество окрашенных сосудов при флюороскопии)
	3=normal (В пределах нормы)
	6=fixed defect (Фиксированный)
Diagnosis	7=reversible defect (Обратимый)
	Diagnosis classes: (Диагностический класс)
	absence =healthy (Отсутствие болезни = здоров)
presence =patient who is subject to possible heart disease (Наличие болезни = пациент, подверженный болезни сердца)	

В начале первого этапа обучение производилось с использованием всех представленных атрибутов. Однако, не все атрибуты стоит считать значимыми и достоверными априори, некоторые из них могут только вносить ошибки при обучении. Для обнаружения важных атрибутов был проведен ряд экспериментов с использованием неполного набора характеристик. Атрибуты, которые вносили наибольшее количество ошибок в результат классификации (т.е. при добавлении которых эффективность распознавания уменьшалась более, чем на 10%), отбрасывались. Такими атрибутами оказались пол, наклон пикового сегмента и результаты ЭКГ без нагрузки. Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Выявление значимых атрибутов

№	Age	Sex	Cp	Trestbps	Chol	Fbs	Restecg	Thalach	Exang	OldpeakST	Slope	Ca	Thal	Точность
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	57%
2	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	54%
3	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	73%
4	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	51%
5	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	58%
6	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	54%
7	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	59%
8	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	76%
9	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	59%
10	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	57%
11	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	59%
12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	69%
13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	57%
14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	57%
15	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	81%

На втором этапе выявлялась эффективность наиболее распространенных алгоритмов машинного обучения на полученном наборе атрибутов. Результирующая точность отработанных методов приведена в табл. 3.

Таблица 3

Точность отработанных методов

Метод	Предсказание заболевания	Предсказание отсутствия заболевания	Точность
Деревья решений	90%	79,2%	85.2%
Байесовская классификация	93,3%	83,3%	88.9%
К-ближайших соседей, K=10	83,3%	75%	79.6%
Метод опорных векторов	80%	79,2%	79.9%

Из таблицы видно, что точность отработанных методов колеблется от 79.6% до 88.9%. Лучшее всего показал себя метод Байесовской классификации. Из 20% исходных данных, которые были использованы для проверки, 88.9% были идентифицированы верно.

Несколько хуже показал себя метод основанный на дереве решений (85.2%). Точность последних двух методов оказалась примерно равной и приняла более низкое значение порядка 80%.

Выводы. В ходе выполнения работы был проведен ряд экспериментов с целью определения наиболее важных атрибутов, по которым можно предугадать наличие сердечных заболеваний, а также определение оптимального метода машинного обучения для решения задачи диагностики сердечных заболеваний.

Неинформативными атрибутами из представленных в репозитории UCI ML оказались пол, наклон пикового сегмента и результаты ЭКГ без нагрузки. Наиболее точным методом классификации оказалась технология Байесовской классификации.

Список литературы

[1] Всемирная организация здравоохранения. 10 ведущих причин смерти в мире [Электронный ресурс] – URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/ru/> (дата обращения: 25.10.2017)

[2] Center for Disease Control and Prevention. Heart Disease and Family History [Electronic resource] – URL: <https://www.cdc.gov/genomics/resources/diseases/heart.htm> (date of access: 25.10.2017)

[3] Paladugu S., Temporal mining framework for risk reduction and early detection of chronic diseases. University of Missouri-Columbia, 2010, pp.5–11.

[4] Аксютин Е.М., Белов Ю.С. Использование облачных технологий для обработки больших данных // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2016. №2 (6). С. 67-73. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/be482078853dc5f8eddddef62912d1a7a.pdf> (дата обращения 28.10.2017)

[5] Аксютин Е.М., Белов Ю.С. Обзор архитектур и методов машинного обучения для анализа больших данных // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2016. №1 (5). С. 132-139. URL: <http://nto-journal.ru/uploads/articles/0b9bd6d9833003ed0d6f9bb16fab81f1.pdf> (дата обращения 28.10.2017)

[6] Blake C.L., Merz C.J., UCI repository of machine learning databases [Electronic resource] – URL: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Statlog+%28Heart%29> (date of access: 15.10.2017)

Белов Юрий Сергеевич – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Email: fn1-kf@mail.ru

Козина Анастасия Валерьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Email: anastasiya-kozina@list.ru

Гришина Алина Игоревна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Email: alina-grishina-2013@mail.ru

Гришунов Степан Сергеевич – ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Email: stepangrishunov@yandex.com

СЕКЦИЯ 11.

**ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ
ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Д.А. Рыжиков, В.Г. Косушкин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В ПРОГРАММЕ COMSOL MULTIPHYSICS® 5.3

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

Научный интерес к полиакрилонитрилу (ПАН) и различным аспектам его применения возникал неоднократно. Изначально данный полимер представлял интерес с точки зрения органической химии в качестве перспективного нового полимера для развития текстильной промышленности.

В качестве инициаторов реакции полимеризации применяют пероксиды, азо- и диазосоединения, а также элементоорганические соединения. [1]

Производство полиакрилонитрила может быть осуществлено как периодическим, так и непрерывным методами. [2]

В настоящее время существует несколько методов синтеза полиакрилонитрила и его сополимеров, большинство из которых реализуемы только в лабораторных условиях. Технология синтеза ПАН – непрерывный процесс радикальной полимеризации в суспензии с использованием окислительно-восстановительного инициирования [3]. Процесс полимеризации акрилонитрила непрерывным методом осуществляется в реакторе с мешалкой, в который непрерывно вводят акрилонитрил, водные растворы персульфата аммония, восстановителя-активатора, например, бисульфита или тиосульфата натрия, и из которого непрерывно выводят суспензию полимера.

Данный процесс может быть описан в программе COMSOL Multiphysics® 5.3.

Полимеризация происходит в полузагрузочном реакторе с объемной емкостью 20 м^3 .

На рисунке 1 представлено схематичное изображение полузагрузочного реактора.

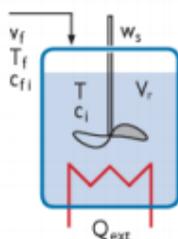


Рис. 1. Схематичное изображение полузагрузочного реактора

В рассматриваемом примере плотность мономера была принята 800 кг/м^3 , 1100 кг/м^3 для полимера и 1000 кг/м^3 для воды. Следовательно, по мере образования полимера объем реагирующей смеси уменьшается. Модель позволяет исследовать два действующих условия:

- Подача мономера ($1 \text{ м}^3/\text{мин}$) отключается после того, как реактор достигает объема 20 м^3 , что происходит через 11,2 минуты. Затем реакционную смесь доводят до завершения.
- Подача мономера регулируется так, чтобы реактор заполнялся, пока идет реакция. Это достигается установкой подачи равной $-U_p$ при $t > 11,2$ минуты.

Результаты:

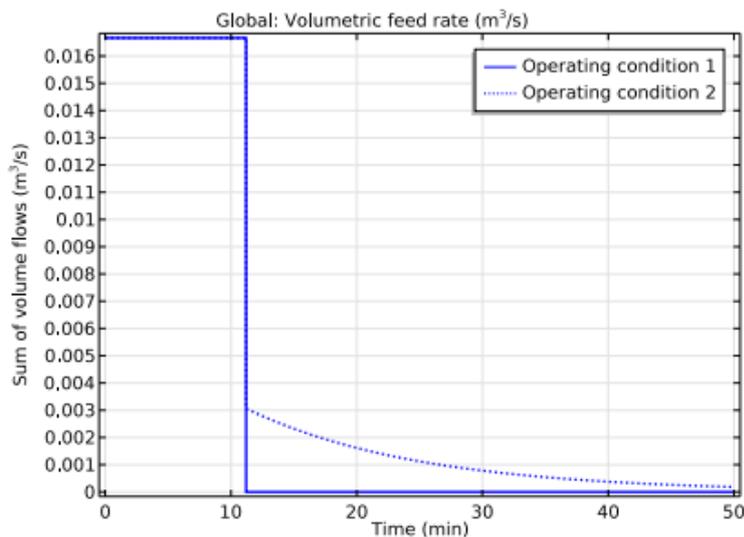


Рис. 2. Расход потока в зависимости от времени. Сплошная линия для первого условия, штрих-пунктирная линия для второго

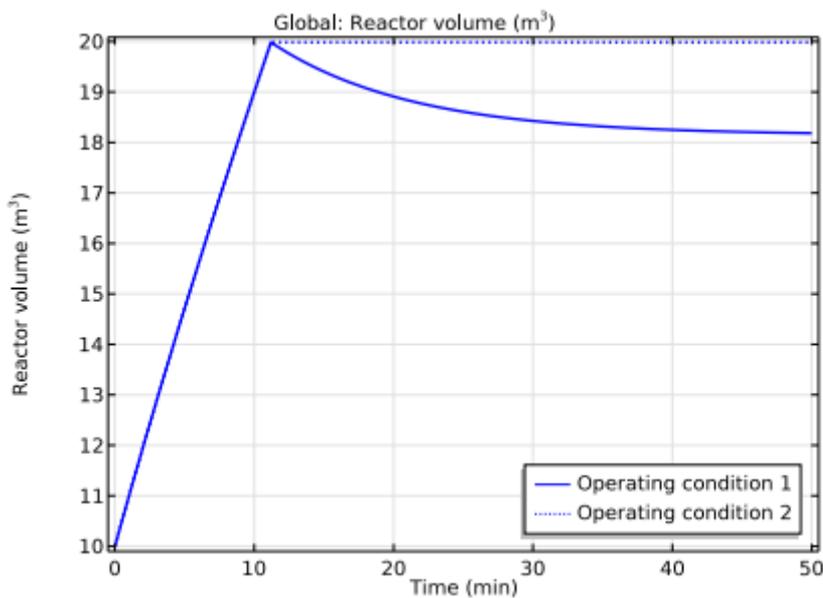


Рис. 3. Объем реактора потока в зависимости от времени. Сплошная линия для первого условия, штрих-пунктирная линия для второго

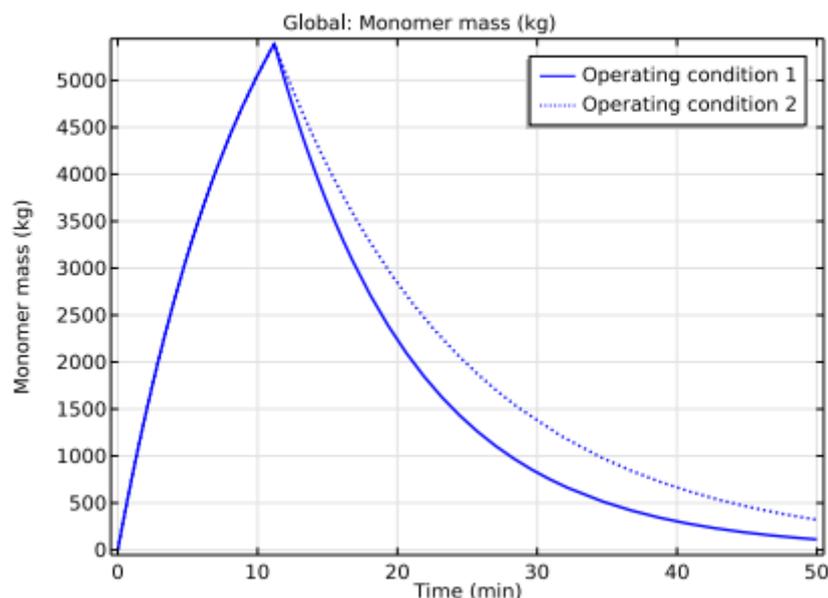


Рис. 4. Общая масса мономера в объеме реактора в зависимости от времени. Сплошная линия для первого условия, штрих-пунктирная линия для второго

Нетрудно сравнить количество полученного полимера в результате двух разных условий эксплуатации реактора. В обоих случаях реакция завершается приблизительно после 100 минут. В это время общий объем реагирующей смеси составляет 18.2 м³ для первого условия и 20 м³.

Относительное увеличение производства полимеров с использованием 2 условия по сравнению с 1 выросло на 19.3%.

Список литературы

- [1] Коршак В.В. Технология пластических масс/ В.В. Коршак; под ред. В.В. Коршака. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. -560 с.
- [2] Matyjaszewski, K. Handbook of Radical Polymerization / K. Matyjaszewski, T. P. Davis // Hoboken: John Wiley and Sons Inc. - 2002. - 920 p. - P. 83.
- [3] E. A. Morris, M. C. Weisenberger, M. G. Abdallah, F. Vautard, H. Grappe, S. Ozcan, F. L. Paulauskas, C.Eberle, D. Jackson, S. J. Mecham, A. K. Naskar. High performance carbon fibers from very high molecular weight polyacrylonitrile precursors // Carbon. 2016. V.101. P.245-252

Рыжиков Даниил Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sc1ff@yandex.ru

Косушкин Виктор Григорьевич – д-р техн. наук, зав. кафедрой "Материаловедение" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kosushkin@gmail.com

В.С. Зайончковский, И.А. Прохоров

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ СТРУКТУР С МНОГОСЛОЙНЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПЛЕНКАМИ

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

В настоящее время в микроэлектронной промышленности используются многослойные металлические пленки, используемые в качестве контактных систем. Разность параметров кристаллических решеток различных слоев и разность коэффициентов термического расширения пленок и подложек приводят к изгибу структур, что является препятствием для корректного проведения процессов фотолитографии и, кроме того, приводит к изменению электропроводности поверхностных слоев полупроводников, вследствие генерации дислокаций несоответствия.

В данной работе исследовался изгиб структур, содержащих: кремниевую монокристаллическую подложку, адгезионный слой к кремниевой подложке - слой ванадия, высоко электропроводящий слой – слой меди. Основой для напыленных слоев металлов являлись образцы монокристаллического кремния с ориентацией больших плоскостей (100), и имеющих размеры $14 \times 14 \times 0.385$ мм³. Подложки были полированы с двух сторон, но одна сторона содержала поверхностные риски.

Пленки наносились методом магнетронного напыления в модернизированной установке УВН-71ПЗ, в которой три термических источника были заменены на три магнетронных источника с диаметром зоны максимальной эрозии, равным 50 мм. При напылении образцы размещались в держателе, при этом размеры области покрытия подложки пленкой составляли 12×12 мм². Вакуум в камере перед напылением был не хуже $2.0 \cdot 10^{-3}$ Па, в качестве распыляющего газа использовался высокочистый аргон, при этом давление в камере поддерживалось равным $(4.0 \pm 5) \cdot 10^{-2}$ Па.

Методика исследования. Изгиб структур исследовался методом двухкристалльной рентгеновской дифрактометрии на двухкристалльном рентгеновском дифрактометре ДРОН-2.0. в геометрии на отражение, Зондирующим излучением являлось излучение $\text{CuK}_{\alpha 1}$. Для расширения пучка и формирования почти плоской волны использовали сильно асимметричное отражение 511 от монохроматора из высокосовершенного германия (угол Брэгга $\theta_B = 45.07^\circ$, фактор асимметрии отражения $b = 0.01$, расходимость пучка после монохроматора составляет по оценкам $\sim 0.5''$). Исследования пластин кремния с напыленными на них металлическими пленками проводили в отражениях 333 (угол Брэгга $\theta_B = 47,54^\circ$), удовлетворительно согласующихся по межплоскостному расстоянию с отражением 511 от

германия. Использовали симметричную схему дифракции с углами падения излучения на образец θ_B вблизи θ_B – угла Брэгга.

При дифрактометрических исследованиях используют одинарную щель. В нашем исследовании, в соответствии с работой [1], использовалась двойная щель (см. Рис. 1) для определения радиуса кривизны пластин R . На рис. 1 введены следующие обозначения: F – источник излучения; M – кристалл-монокроматор; C – исследуемый кристалл; D – детектор излучения; S – двойная щель (S_1 и S_2 -условное обозначение щелей); L – база (расстояние между щелями S_1 и S_2 равно - 4 мм). В случае неизогнутого кристалла оба луча S_1 и S_2 выходят в отражающее положение одновременно. Если кристалл изогнут, то при его вращении в Брэгговском направлении регистрируются два дифракционных пика. Угловое расстояние между щелями связано с радиусом кривизны простым соотношением:

$$R = \frac{L}{\Delta\theta \sin \theta_B} \quad (1)$$

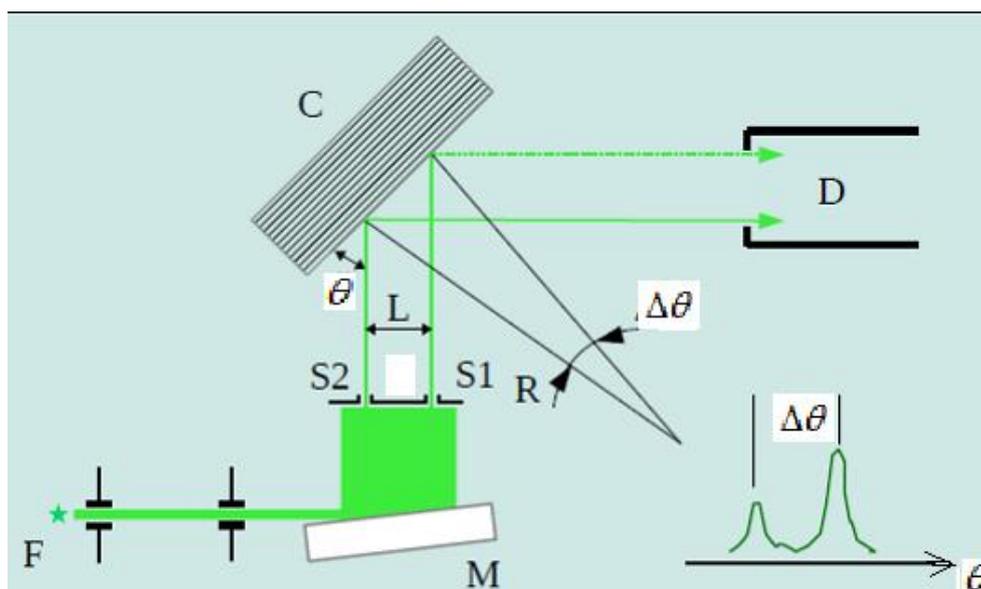


Рис. 1. Рентгенооптическая схема двухкристального дифрактометра в режиме определения радиуса кривизны пластин

При указанных выше параметрах схемы предел измерения метода составил $R \sim 500$ м. Последовательность выхода в отражающее положение лучей S_1 и S_2 определяет направление (знак) изгиба. Геометрическая схема дифракции при симметричном отражении и проведении измерений с двумя щелями представлена на рис. 2.

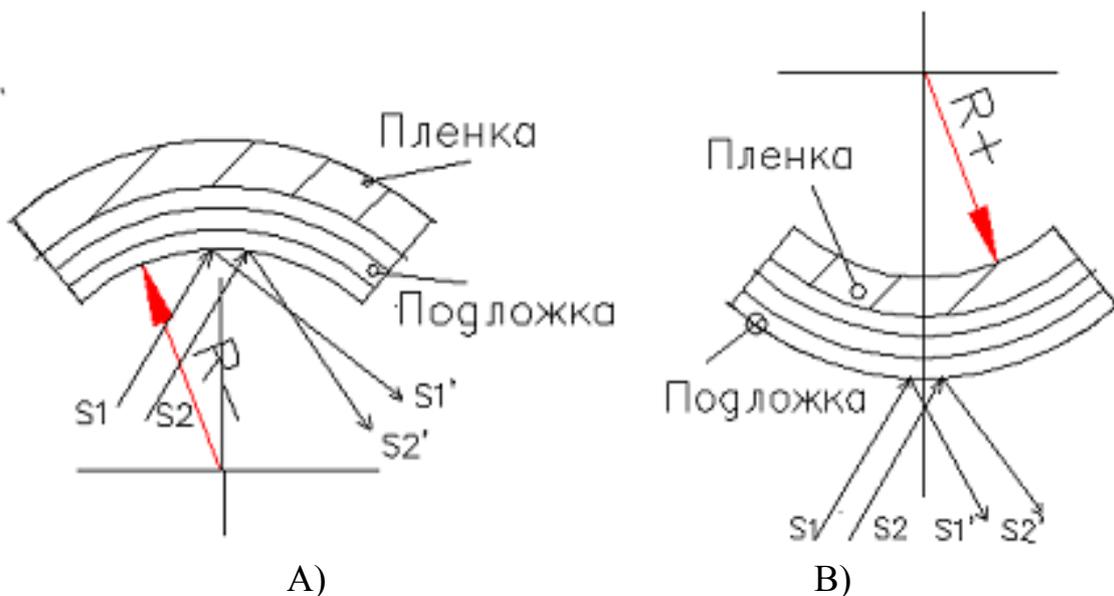


Рис. 2. Геометрические схемы дифракции при симметричном отражении с использованием двух щелей S1 и S2:

- А) – в пленке действуют сжимающие напряжения, схема;
 В) - в пленке действуют растягивающие напряжения

Результаты исследования. Измерения интенсивности отражений рентгеновского луча в зависимости от поворота образца (кривые качания) со стороны хорошо отполированной поверхности подложки представлены на рис. 3 и 4. Рост угла на кривых качания происходит справа – налево. На этих рисунках введены обозначения: S1 – соответствует кривой качания при прохождении рентгеновского излучения через щель S1, S2 – соответствует кривой качания при прохождении рентгеновского излучения через щель S2, S1+S2 – соответствует кривой качания при прохождении рентгеновского излучения одновременно через щели S1 и S2. На рис. 3 представлены фрагменты записи трех кривых качания образца в виде кремниевой монокристаллической подложки с поликристаллической пленкой ванадия, нанесенной на недостаточно хорошо отполированную поверхность. Обозначения фрагментов на рис. 3 и рис. 4 (S1, S2, S1+S2) такой же кодировки, как и указанная выше кодировка. Мерный отрезок на всех кривых качания был одинаков и составлял 16,3 угловых секунд.

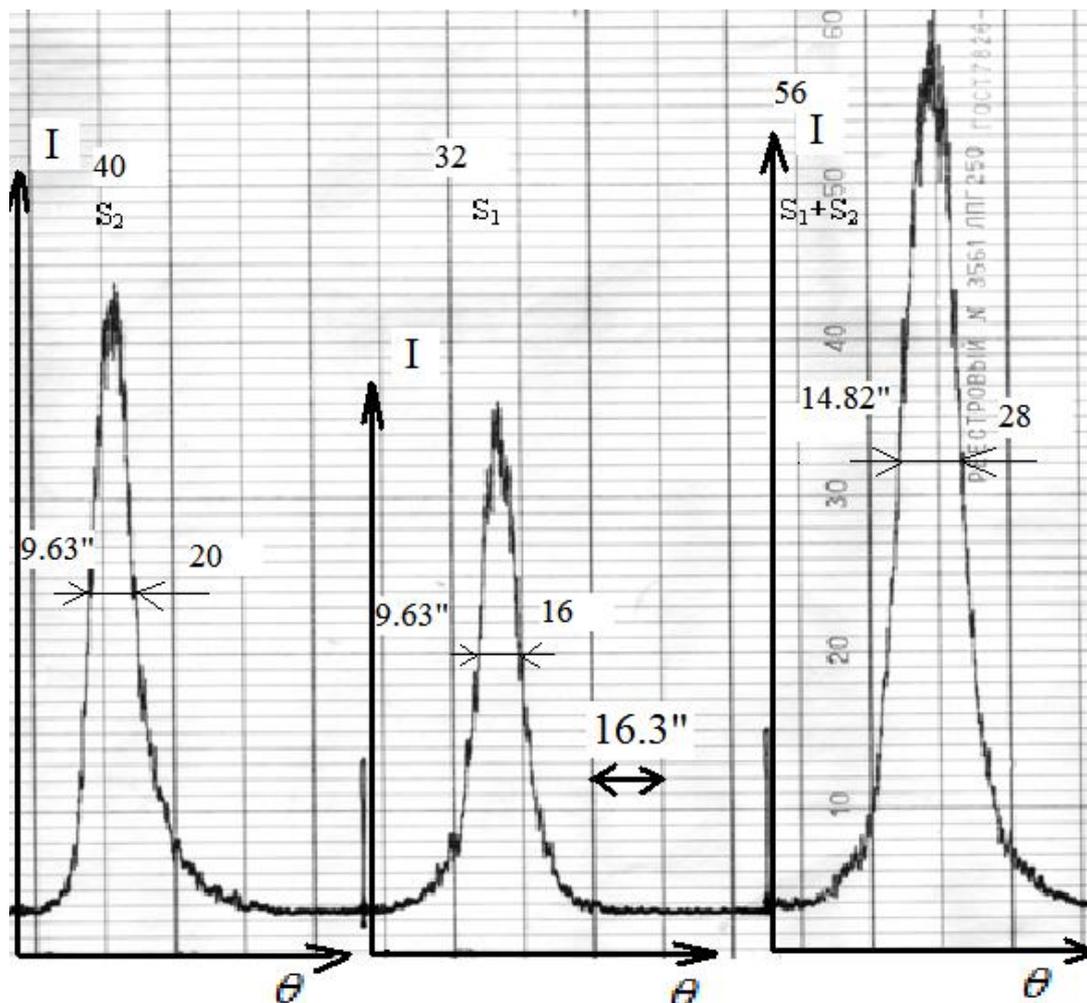


Рис. 3. Фрагменты кривых качания образца кремниевой монокристаллической подложки с поликристаллической пленкой ванадия толщиной 100 нм вблизи угла Брэгга для кремния

Фрагмент а – рентгеновское излучение поступает на образец через щель S1, фрагмент б – излучение поступает на образец через щель S2, фрагмент с – излучение поступает на образец через щели S1 и S2. Кривая качания для фрагмента с показывает, что имеет место уширение пика дифракции S1+S2 без разделения пиков от щелей S1 и S2. Последовательным закрытием щелей для фрагмента с удалось определить последовательность расположения пиков от щелей S1 и S2, разность углов пиков и, следовательно, определить радиус изгиба подложки. Образец, содержащий двухслойную пленку, состоящую из слоя ванадия толщиной 110 нм и слоя меди толщиной 400 нм, имеет кривую качания, представленную на рис. 4.

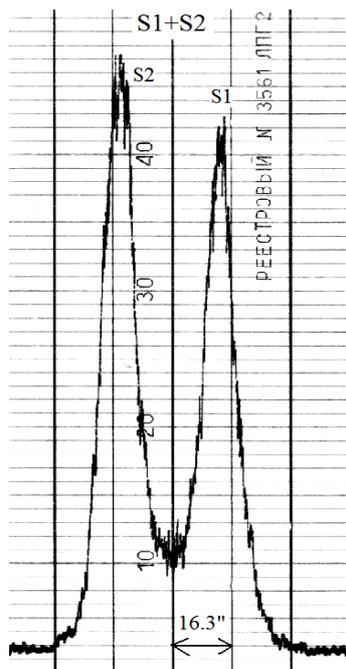


Рис. 4. Кривая качания образца кремниевой монокристаллической подложки с поликристаллической пленкой, содержащей слой ванадия толщиной 110 нм и слой меди толщиной 400 нм

Результаты измерения кривых качания представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ пп	Описание образца	Характер изгиба подложки	Угловое разделение пиков дифракции, угл. Сек.	Радиус изгиба, м
	Подложка без пленки	Вогнутость со стороны хорошо отполированной поверхности		-240
	Подложка с пленкой ванадия, толщиной 110 нм	Вогнутость со стороны хорошо отполированной поверхности	5,9"	-229
	Подложка с пленкой ванадия, толщиной 110 нм, поверх которой нанесена пленка меди, толщиной 400 нм	Выпуклость со стороны хорошо отполированной поверхности	28,4"	-47.7

По определенным, из рентгеновских измерений, значениям радиусов кривизны подложек можно, в соответствии с работами [2, 3], определить уровень и знак механических напряжений в металлической пленке:

$$\sigma = \frac{E_s d_s^2}{6(1 - \nu_s) d_f} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (2)$$

где E_s – модуль упругости подложки; d_s и d_f – толщина подложки и пленки, соответственно; R_1 и R_2 – радиусы кривизны подложки до и после нанесения покрытия, соответственно. Модуль упругости Юнга для кремния $E_s = 109$ ГПа, коэффициент Пуассона для кремния $\nu_s = 0,266$, толщина кремниевой монокристаллической подложки $d_s = 0,385$ мм, толщина слоя меди

$d_f = 0,4$ мкм. Уровень растягивающих напряжений для пленки меди оценивается на уровне $\sigma = 1,9 \cdot 10^8$ Па.

Выводы

Проведенные измерения позволяют:

- определять радиус изгиба подложек, который является критичным при проведении процессов фотолитографии,
- определять уровень механических напряжений, что важно для использования слоя меди в качестве механического компенсатора.

Список литературы

[1] Прохоров И.А., Захаров Б.Г. Рентгенодифракционные исследования особенностей релаксации и распределения макронапряжений в эпитаксиальных структурах. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 1999. №2. С. 106-109.

[2] Mounier E., Pauleau Y. Effect of energetic particles on the residual stresses in nonhydrogenated amorphous carbon films deposited on grounded substrates by dc magnetron sputtering // J. Vac. Sci. Technol. A. 1996. V. 14. No 4. P. 2535–2543.

[3] <http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/s/SOLOVEV/Engl/Tab/FMM0120.pdf>

Зайончковский Вячеслав Станиславович – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vz48@post.ru

Прохоров Игорь Алексеевич – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: igor.prokhorov@mail.ru

Д.П. Островский, В.Г. Косушкин, С.А. Адарчин,
И.Р. Бережанский

ОСОБЕННОСТИ ТОЛСТОПЛЁНОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

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

Толсто пленочная технология широко применяется как на отечественных, так и на зарубежных предприятиях. Причинами выбора данной технологии являются высокая себестоимость изделий и сравнительная простота освоения. В основе толсто пленочной технологии лежит процесс трафаретной печати на керамическую подложку проводящих, диэлектрических и резистивных паст с последующим вжиганием. Толсто пленочная технология позволяет получать плёнки толщиной в десятки микрометров и применяется для изготовления пассивных элементов и гибридных схем. Высокая надёжность толсто пленочных элементов обеспечивается прочным сцеплением плёнки с керамической подложкой, которое достигается в процессе вжигания.

В качестве основных материалов в толсто пленочной технологии используются керамические подложки и толсто пленочные пасты. Особую сложность составляет получение толстых плёнок на поверхности AlN, поскольку в данной керамике отсутствует естественный окисел, который в случае с алюмооксидной керамикой обеспечивает прочное сцепление плёнок с подложкой.

Однако несмотря на кажущуюся простоту, данная технология содержит в себе множество трудно контролируемых параметров, из-за которых производства могут сталкиваться с проблемами.

Целью работы являлось изучение одного из параметров – зависимость сопротивлений от температур вжиганий.

Для достижения поставленной цели было необходимо произвести вжигания резисторов нескольких номиналов при различных температурах. В процессе работы использовались толсто пленочные проводниковая и резистивная пасты. На очищенные подложки были нанесены проводниковый слой, а также резистивные слои номиналами 3 кОм.

Предварительная подготовка алюмооксидных подложек включала в себя очистку поверхности от загрязнений и термообработку. Качество подготовленной поверхности контролировалось визуально с помощью микроскопа. [1]

Проводник и резистор на четырех платах прошли первоначальное вжигание при пиковой температуре 850 градусов.

Затем платы прошли повторное вжигание при температурах 600, 610, 620 и 630 градусах соответственно. Вжигание производилось в камерных печах. Инертные газы не применялись.

Затем эксперимент был повторен еще 2 раза.

Таблица 1

Зависимости номиналов от температур вжигания (эксп. 1)

Температура вжигания, градусы Цельсия	600	610	620	630
Номинал до, Ом	1,72	1,71	1,85	1,96
Номинал после, Ом	1,72	1,78	1,95	2,15

Таблица 2

Зависимости номиналов от температур вжигания (эксп. 2)

Температура вжигания, градусы Цельсия	600	610	620	630
Номинал до, Ом	1,81	1,69	1,55	2,07
Номинал после, Ом	1,82	1,75	1,64	2,26

Таблица 3

Зависимости номиналов от температур вжигания (эксп. 3)

Температура вжигания, градусы Цельсия	600	610	620	630
Номинал до, Ом	1,7	1,7	1,58	1,71
Номинал после, Ом	1,7	1,76	1,64	1,87

Поставленная цель была выполнена. В результате выполнения работы изготовлены опытные образцы и получены нужные зависимости.

Список литературы

[1] Косушкин В.Г., Адарчин С.А., Островский Д.П. Применение толсто-пленочных материалов на базе меди для высокоточной электроники // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2016. №4 (9). С. 152-158.

Островский Дмитрий Петрович – аспирант КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: blackswan.94.klg@gmail.com

Косушкин Виктор Григорьевич – д-р техн. наук, зав. кафедрой "Материаловедение" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kosushkin@gmail.com

Адарчин Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: adarchin@rambler.ru

Бережанский Иван Романович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: berezhanskiy.ivan@mail.ru

А.О. Кузьмичева, В.Г. Косушкин

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ МЕТОДА ИСПАРЕНИЯ – КОНДЕНСАЦИИ

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

Рассмотрен процесс испарения-конденсации для получения наночастиц переходных металлов и их сплавов. Описаны особенности оборудования для реализации процесса. Определена возможность моделирования процесса нагревания в программе Comsol Multiphysics.

Введение. Наиболее общей кинетической закономерностью формирования наноразмерных частиц является сочетание высокой скорости зарождения кристаллической фазы с малой скоростью ее роста. Такие особенности синтеза наночастиц определяют технологические пути его осуществления.

Целью работы был анализ метода получения наноразмерных частиц с помощью процесса испарения-конденсации и выбор методики моделирования процесса.

Актуальность процесса испарения-конденсации заключается в том, что он является высокопроизводительным одностадийным процессом, дающим возможность диспергировать исходный материал.

Принцип метода испарения–конденсации. Технология метода испарения–конденсации включает испарение металла в поток инертного газа, где поток несущего газа с парами металла подается в камеру, и температура стенок меняется заранее заданным образом [1].

На рисунке 1 показана схема установки для получения кластеров металлических атомов.

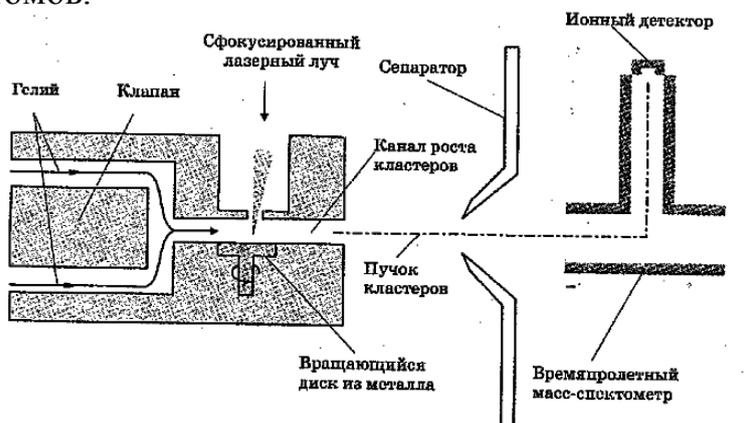


Рис. 1. Установка для получения наночастиц металлов методом испарения-конденсации

Лазерный луч высокой интенсивности падает на вращающийся диск из металла, вызывая испарение атомов с поверхности металла, которые затем уносятся потоком гелия через сопло [2]. Расширение этого потока в вакууме приводит к его охлаждению и образованию кластеров атомов металла. Эти кластеры ионизируются ультрафиолетовым (УФ) излучением и попадают в масс-спектрометр [2,3]. Для изучения химического взаимодействия наночастиц с газами возможно введение различных газов, например, кислорода.

Такой способ позволяет получать частицы размером от двух до нескольких сотен нанометров.

Использование программы COMSOL Multiphysics при моделировании процесса испарения-конденсации. Процессы испарения и конденсации напрямую связаны с нагревом исходного материала, который можно осуществить, например, с помощью электронного луча или лазера в вакууме 10^{-5} – 10^{-6} мм рт.ст. Высокоинтенсивные лазеры, падающие на частично прозрачный материал, вносят энергию в материал.

Рисунок 2 иллюстрирует пример падающего луча на полупрозрачный материал, при этом часть энергии поглощается самим материалом.

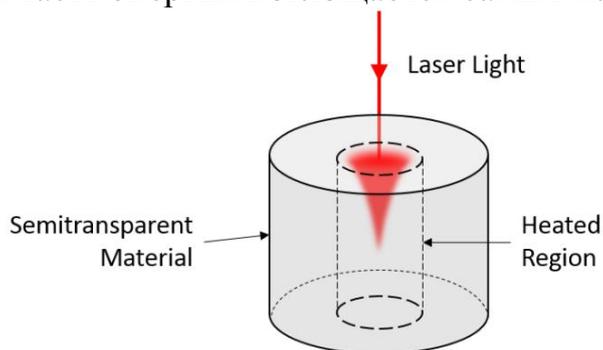


Рис. 2. Пример падающего луча на полупрозрачный материал

Моделирование происходит по закону Бера-Ламберта так, как свет является коллимированным, испытывает минимальное преломление, отражение или рассеяние внутри самого материала. Этот закон может быть записан в дифференциальной форме для интенсивности света и имеет вид:

$$\frac{\partial I}{\partial z} = -\alpha(T)I \quad (1)$$

α - коэффициент поглощения материала (координата вдоль направления пучка) [4].

Так как температура может изменяться в пространстве и времени, используют управляющее уравнение в частных производных для распределения температуры внутри материала:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla(k\nabla T) = Q = \alpha(T)I \quad (2)$$

Чтобы реализовать закон Бера-Ламберта, необходимо добавить интерфейс PDE General Form с параметрами зависимых переменных и единиц.

Граничное условие Zero Flux является естественным граничным условием и не накладывает ограничения или нагрузки. Оно подходит для большинства границ кроме освещенной. Так как только часть лазерного излучения отражается на границе диэлектрика, интенсивность света на поверхности материала уменьшается до интенсивности падающего излучения [5]. Это условие реализуется с граничным условием Дирихле. Остальные границы можно оставить при тепловой изоляции по умолчанию, при этом могут наблюдаться радиационные потери тепла на освещенной границе. Для моделирования используют граничные условия Diffuse Surface, которые принимает излучательную способность поверхности в качестве входных данных.

На рисунке 3 показана сетка конечных элементов и зависимость температуры и интенсивности света в материале от времени.

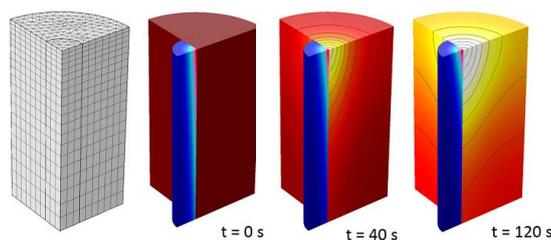


Рис. 3. Конечное изображение сетки конечных элементов, зависимости температуры и интенсивности света в материале от времени

Рисунок 4 представляет собой зависимость интенсивности света и температуры по глубине и иллюстрирует влияние изменяющегося коэффициента поглощения из-за повышения температуры.

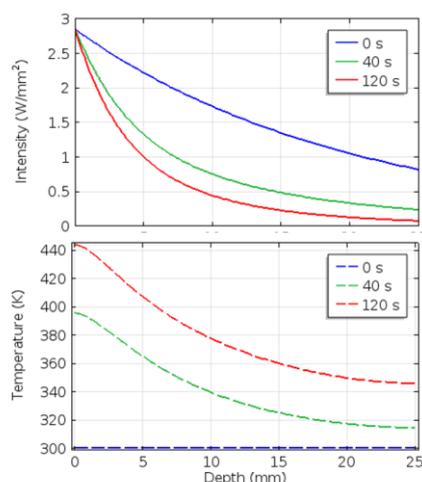


Рис. 4. Изображение интенсивности света и температуры в зависимости от глубины вдоль осевой линии с течением времени

Вывод. Определена возможность использования пакета COMSOL Multiphysics для моделирования процесса получения наночастиц методом испарения – конденсации с учётом параметров нагрева материала.

Список литературы

- [1] Старостин, В.В. Материалы и методы нанотехнологий: Учебное пособие. - М.: БИНОМ, 2010. - 431 с.
- [2] Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы. Учебное пособие. - М.: Издательский центр «Академия», 2005. - 192 с.
- [3] Гусев А.И. Эффекты нанокристаллического состояния в компактных металлах и соединениях // Успехи физических наук. - 1998. - № 1. - С. 55-83.
- [4] Елисеев А.А. Функциональные наноматериалы. – М.: Физматлит, 2010. - 456 с.
- [5] Modeling Laser-Material Interactions with the Beer-Lambert Law / [Электронный ресурс]. – <https://www.comsol.com/blogs/modeling-laser-material-interactions-with-the-beer-lambert-law/>

Кузьмичева Анастасия Олеговна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Anastasiya140296@yandex.ru

Косушкин Виктор Григорьевич – д-р техн. наук, зав. кафедрой "Материаловедение" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kosushkin@gmail.com

И.Р. Бережанский, С.А. Адарчин

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МОЩНЫХ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

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

На сегодняшний день технология изготовления толсто пленочных резисторов проще и быстрее, чем производство тонко пленочных резисторов, поскольку при производстве толсто пленочных резисторов в основном используют процесс печати на экране и трафарете. Процесс изготовления начинается со смешивания резистивного материала со стеклянным или керамическим порошком и жидкостью-носителем. Затем на диэлектрическую подложку через трафарет последовательно наносят и вжигают слои различных резистивных паст, а затем выпекают в печи для отверждения в стеклянном слое. Единый предварительно затвердевший субстрат часто содержит тысячи резисторов. Резисторы обрезаются лазером до требуемого значения сопротивления. Технология толсто пленочных резисторов обеспечивает гораздо больший диапазон слоев сопротивления и, следовательно, гораздо больший диапазон значений сопротивления. [1]

Основными преимуществами толсто пленочных резисторов по сравнению с тонко пленочными компонентами являются их гораздо более широкий диапазон значений сопротивления, а также более высокие возможности обработки мощности и более низкие производственные затраты.

В целом, поскольку толсто пленочные резисторные микросхемы являются не дорогостоящими конструкциями, выпускаются во многих специальных версиях и имеют постоянно улучшающиеся уровни производительности и точности, приближающиеся к тонко пленочным моделям, большинство изготовителей электроприборов делают свой выбор именно в пользу толсто пленочных резисторов. [2]

В связи с этим целью работы является разработать конструкцию мощного толсто пленочного резистора.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- По заданным требованиям разработать макетный чертеж мощного резистора;
- С помощью имеющегося оборудования сделать экспериментальный образец;
- Испытать макетный образец.

Требования, предъявляемые к резистору:

$P = 20 \text{ Вт.}$

$R = 50 \text{ Ом}$

Кол-во – 8 шт.

На основании предъявленных требований в программе КОМПАС была спроектирована схема макета платы силового резистора. (Рис. 1)

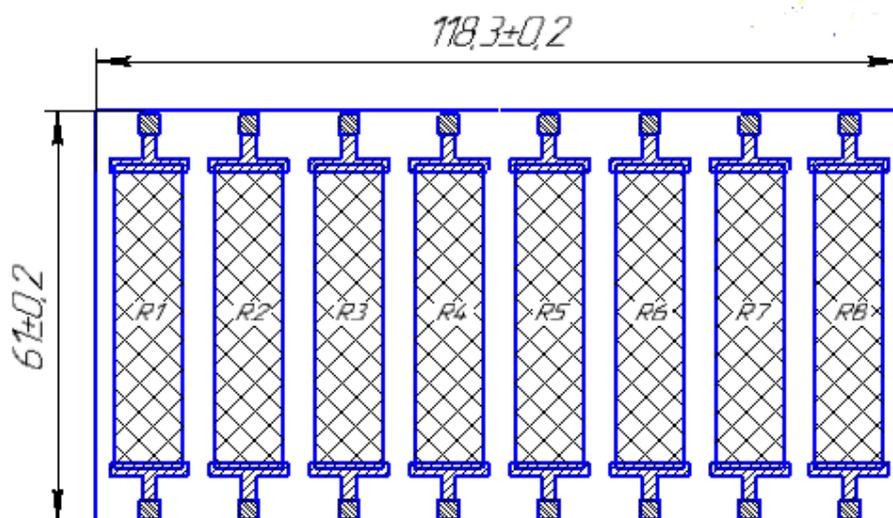


Рис. 1. Схема макета платы силового резистора

На основании чертежа были изготовлены фотошаблоны для трафаретов: резистивный слой, проводниковый слой, защитный слой. После изготовления сетчатых трафаретов на керамическую подложку наносили проводниковый слой с удельным сопротивлением $P_s=0.025$ Ом/кв и резистивный слой с удельным сопротивлением $P_s=10$ Ом/кв.

На рис. 2 представлен собранный экспериментальный образец резисторной сборки.

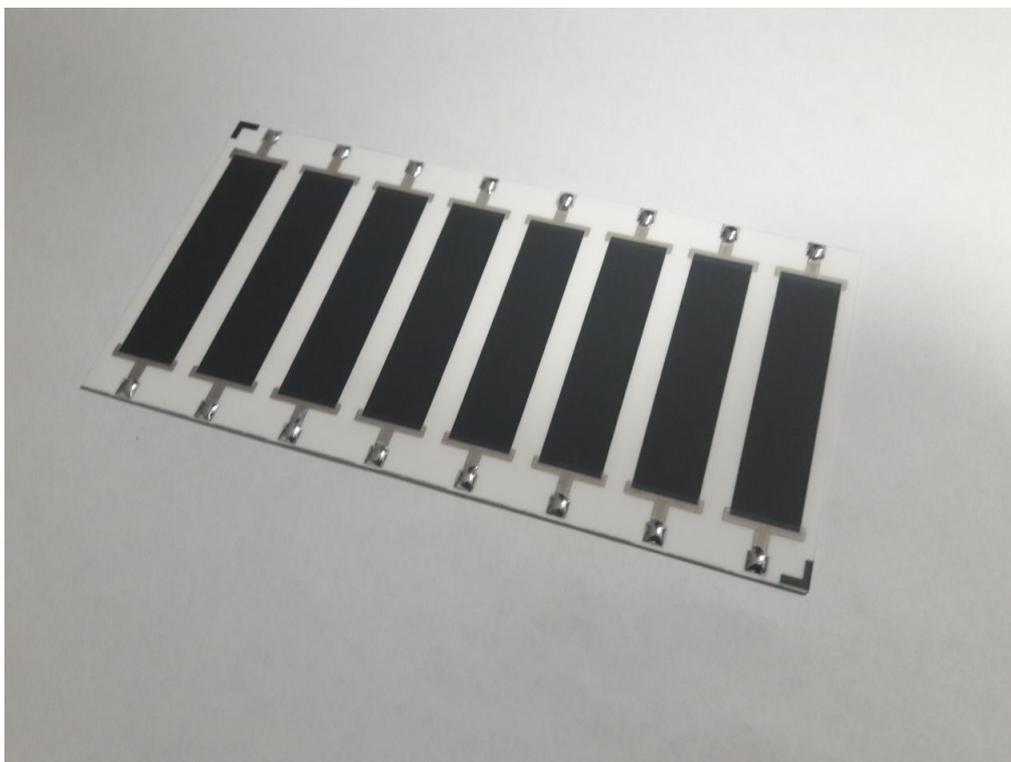


Рис. 2. Экспериментальный образец резисторной сборки

Для проверки работоспособности макетного образца была собрана экспериментальная установка, состоящая из источника питания Актаком АТН-4233, мультиметра FLUKE 106, мультиметра V&A instrument MY-64. Схема подключения макетного образца резисторной сборки представлена на рис. 3.

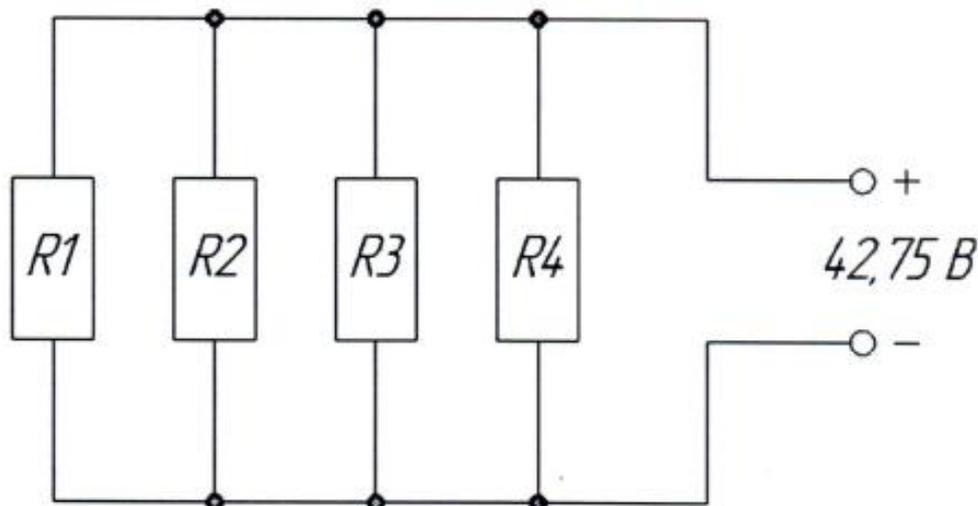


Рис. 3. Схема подключения макетного образца резисторной сборки

Резисторная сборка была установлена на радиатор охлаждения без обдува площадью 1025 см².

Первый этап лабораторных испытаний был остановлен через 30 минут, так как после начала эксперимента температура резисторов стремительно возрастала и к этому моменту достигала 130 С и продолжала расти. В связи с этим резисторная сборка была установлена на радиатор охлаждения с вентилятором (скорость вращения 1600 об/мин). В процессе проведения второго этапа выявлено, нагрев резистора с радиатором охлаждения и вентилятором составляет 80 С.

Выводы:

По результатам работы был собран макетный образец резисторной сборки. Макетный образец успешно прошел лабораторные испытания.

Список литературы

[1] Коледов, Л.А. Конструирование и технология микросхем [Текст] / Л.А. Коледов - М.: Высшая школа, 1984.

[2] Червяков Г.Г, Осадчий Е.Н. Элементы и приборы полупроводниковой электроники. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. - 282 с.

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

И.Р. Бережанский, С.А. Адарчин

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ТКС ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

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

На сегодняшний день большинство элементов и компонентов ГИС с успехом реализуется методами толсто пленочной технологии. Толсто пленочные элементы должны обеспечивать: широкий диапазон номиналов сопротивлений; высокую точность получения номиналов сопротивлений; высокую временную и температурную стабильности сопротивлений резисторов; хороший электрический контакт с проводниковыми элементами микросхем.

Среди названных требований важнейшее значение имеет требование температурной стабильности, которая характеризуется температурным коэффициентом сопротивления (ТКС).

Значение ТКС определяет каким будет значение сопротивления при изменении параметров окружающей среды. Чем больше коэффициент, тем изменение сопротивления будет значительнее. Такая температурная зависимость сопротивления должна быть обязательно учтена при проектировании радиоэлектронной аппаратуры, что аппаратура должна работать при любых условиях окружающей среды, те же автомобили эксплуатируются от минус 40 °С до плюс 80 °С [1]. А электроники в автомобиле много, и если не учесть влияние окружающей среды на работу элементов схемы, то можно столкнуться с ситуацией, когда электронный блок отлично работает при нормальных условиях, но отказывается работать при воздействии пониженной или повышенной температуры. Вот эту зависимость от условий внешней среды и учитывают разработчики аппаратуры при ее проектировании, используя для этого при расчётах параметров схемы температурный коэффициент сопротивления.

В связи с этим целью работы является разработать методику измерения ТКС толсто пленочных резисторов.

Значение ТКС может быть положительным и отрицательным. Если он положительный, то при увеличении температуры сопротивление проводника растёт, если отрицательный, то уменьшается. Для большинства металлов, применяющихся как проводники электрического тока, ТКС положительный. [2]

Формула для расчета ТКС:

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R \Delta T} \quad (1)$$

где α - температурный коэффициент сопротивления; ΔR - алгебраическая разность между сопротивлением, измеренным при заданных положительной и отрицательной температурах; R - сопротивление резистора, измеренное

при нормальной (+20С) температуре; ΔT - алгебраическая разность между заданной положительной и заданной отрицательной температурами.

Для проведения испытаний было отобрано 3 платы ГИС с одинаковыми номиналами сопротивлений резисторов. Резистивная паста «ЭЛМА» российского производства вжигалась при температуре 850 С. В таблице 1 приведены технические характеристики испытываемых плат ГИС.

Таблица 1

Технические характеристики испытываемых плат.

№ Платы	Номинальное значение резистора R	Температура вжигания пасты	Электрическая характеристика Ом/#
1	83,2	850	50
2	82,3	850	50
3	85,7	850	50

С целью определения величины температурного коэффициента плат ГИС была разработана экспериментальная установка, состоящая из испытываемой платы, камеры тепла-холода КТХ-74-65/165 и цифрового мультиметра АРРА 503. Схема экспериментальной установки приведена на рис.1.

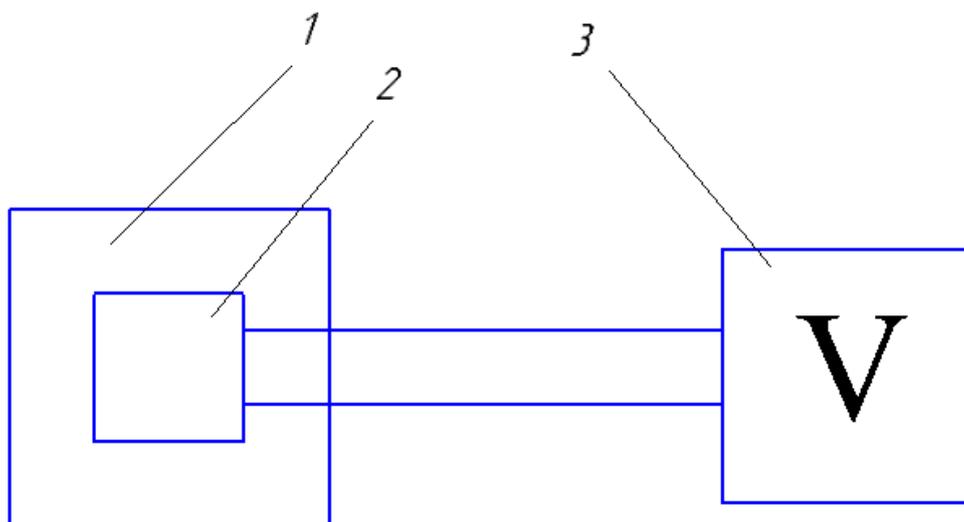


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – Камера тепла-холода, 2 – Испытываемая плата ГИС, 3 – цифровой мультиметр

К каждой плате подпаивались медные провода, после чего плата помещалась в камеру тепла-холода. Номинал и технические характеристики резисторов показаны в таблице 1. Испытания проводились в интервале температур от -60 до +85 С. На рис. 2 изображена испытываемая плата ГИС.

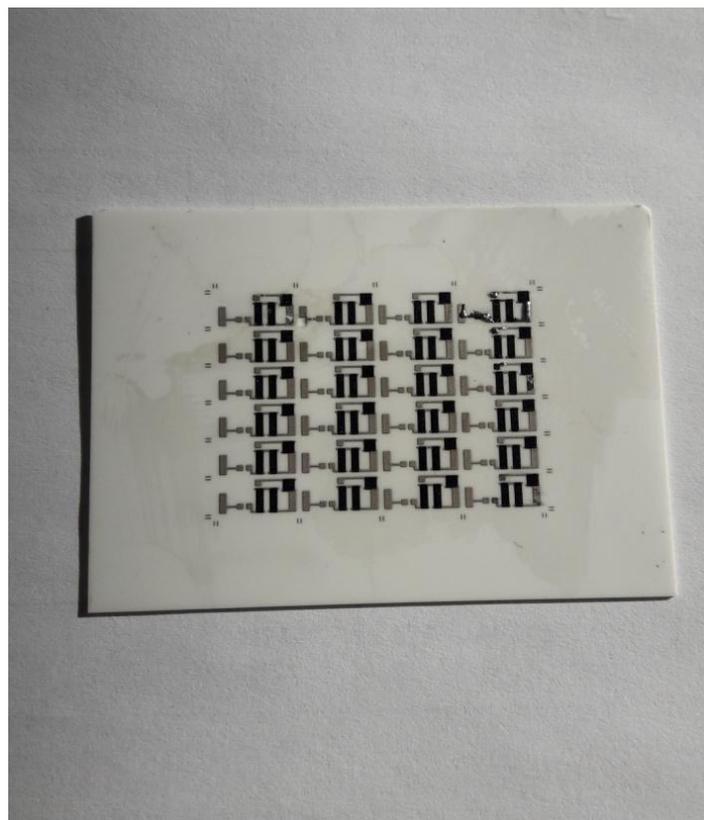


Рис. 2. Испытываемая плата ГИС

Результаты эксперимента по каждому резистору показаны в таблице 2. По данным из таблицы видно, как при воздействии температуры изменяется сопротивление резисторов.

Таблица 2

Полученные в ходе эксперимента значения сопротивления.

	1	2	3
Температура, С	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом
-60	83,3	82,2	85,5
-50	83,3	82,2	85,5
-40	83,2	82,1	85,5
-30	83,1	82,1	85,5
-20	83,1	82,2	85,4
-10	83	82,2	85,6
0	83,1	82,2	85,6
10	83,1	82,2	85,6
20	83,2	82,3	85,7
30	83,1	82,3	85,7
40	83,1	82,4	85,8
50	83,2	82,4	85,9
60	83,2	82,5	86
70	83,2	82,6	86,1
80	83,3	82,7	86,1
85	83,3	82,7	86,2

С помощью формулы (1) рассчитываем ТКС для каждого резистора:
Для первого резистора:

$$\alpha_1 = \frac{83,3 - 83}{83,2 \cdot 145} = 25 \text{ ppm}$$

Для второго резистора:

$$\alpha_2 = \frac{82,7 - 82,1}{82,3 \cdot 145} = 50 \text{ ppm}$$

Для третьего резистора:

$$\alpha_3 = \frac{86,2 - 85,4}{85,7 \cdot 145} = 64 \text{ ppm}$$

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что данная методика позволяет определять ТКС толсто пленочных резисторов.

Список литературы

[1] Червяков Г.Г, Осадчий Е.Н. Элементы и приборы полупроводниковой электроники. – Таганрог: Изд-во Технологического институту ЮФУ, 2007. - 282 с.

[2] T. Inokuma, Y. Taketa and M. Haratome, "The microstructure of RuO thick film resistor and the influence of glass particle size on their electrical properties." IEEE Trans. Components Hybrids, and Manufacturing Tech. CHMT-7 pp. 166-175, (1984).

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

А.В. Скипер, О.Ю. Егорова, Аунг Чжо Чжо,
В.С. Зайончковский

РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ТОПОЛОГИИ КРИСТАЛЛА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ХОЛЛА

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

Введение. Измерительные датчики Холла находят очень широкое применение в приборостроении и в автомобилестроении, как имеющие линейность в широком диапазоне индукции магнитного поля. Чувствительным элементом в этих датчиках является преобразователь Холла, который для обеспечения малого температурного дрейфа выполняется на основе слоя антимонида индия (InSb), как материала с малой шириной запрещенной зоны (0,17 эВ при $T=300\text{K}$). Такая малая величина ширины запрещенной зоны приводит к тому, что вблизи комнатной температуры полупроводник является вырожденным с практически постоянной концентрацией носителей заряда. Тонкие пленки антимонида индия выращиваются эпитаксиально на подложках арсенида галлия, что позволяет добиваться высоких значений подвижности носителей заряда. С целью снижения токов утечки в этих структурах используются подложки полуизолирующего арсенида галлия. Площадь поверхности преобразователя Холла незанятая металлизацией или слоем антимонида индия может быть использована как поверхность, могущая поглощать свет в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. Это приводит к возможности построения чувствительного элемента магнитного поля и оптического излучения на основе одной и той же структуры.

Описание реализованного техпроцесса. Исходная структура представляет собой слой антимонида индия толщиной 0,5 мкм выращенный эпитаксиально на подложке арсенида галлия диаметром 40 мм и толщиной 0,5 мм. На слой антимонида индия в качестве адгезионного слоя напылен слой титана, в качестве проводящего слоя напылен слой меди, на который, в качестве защитного слоя напылен слой титана [1]. К напыленному слою меди предъявляются противоречивые требования: он должен быть достаточно толстым, чтобы не растворяться в припое при пайке выводов, и в тоже время, должен быть достаточно тонким для легкого удаления при формировании топологии металлизации. Такие требования приводят к необходимости локального гальванического наращивания меди. На рис. 1 представлен реализованный технологический маршрут, в котором формировалась топология кристалла преобразователя Холла.

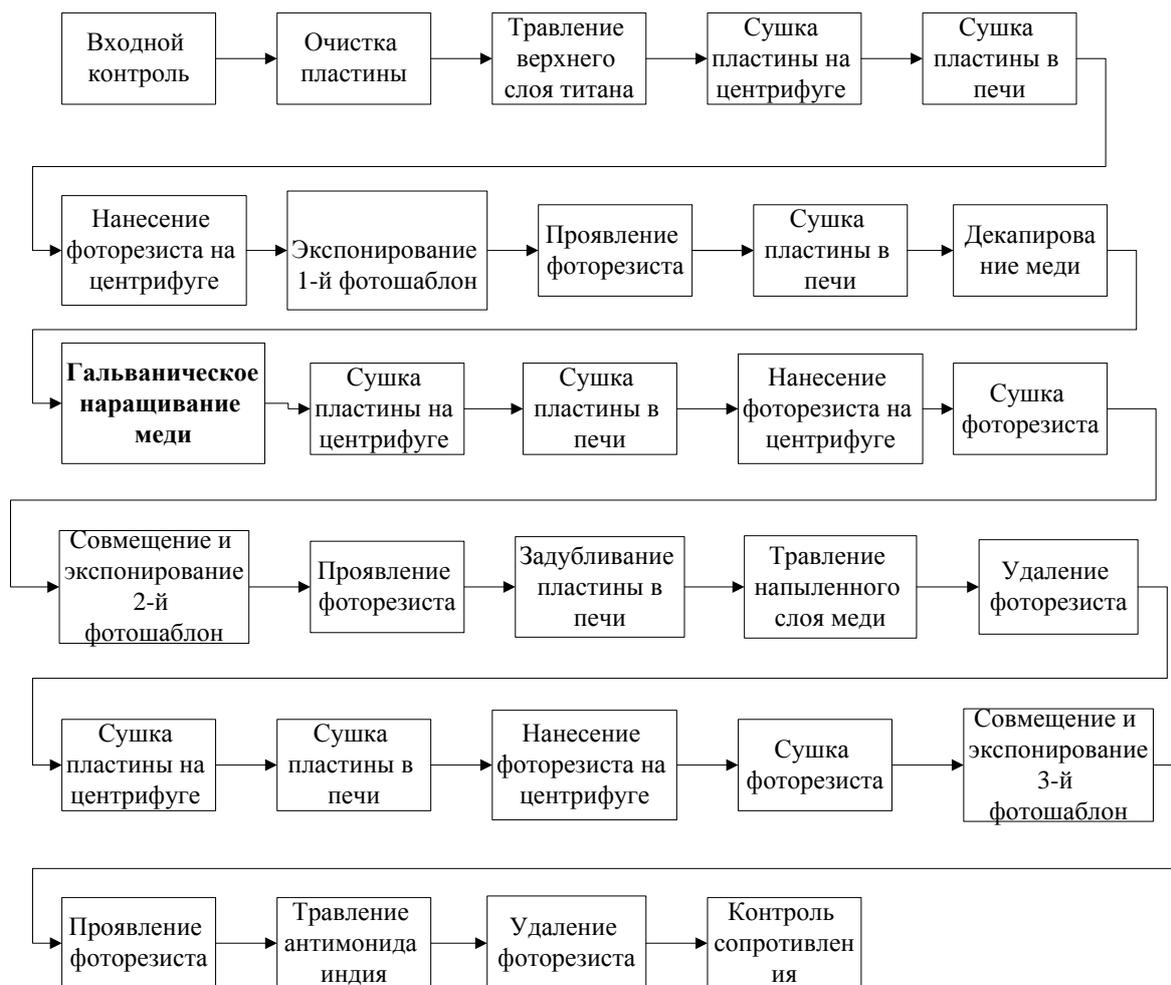


Рис. 1. Технологический маршрут изготовления преобразователей Холла

Топология полученного кристалла преобразователя Холла представлена на рис. 2.

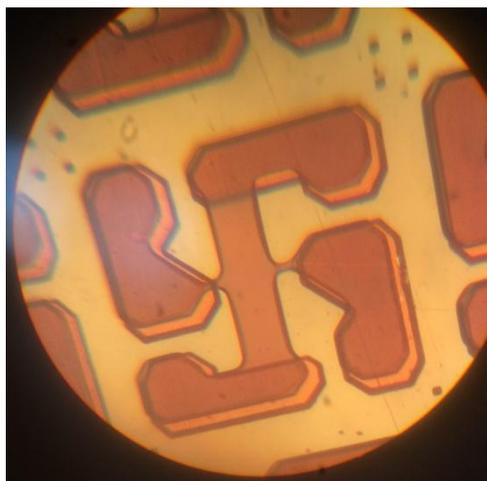


Рис. 2. Топология кристалла преобразователя Холла

Гальваническое наращивание меди является критичной операцией, требующей контроля получаемой с помощью электролиза толщины покрытия. Согласно экспериментальным данным, [2], осаждение атомов ме-

талла при гальваническом наращивании начинается на дефектах структуры подложки, после этого фронт наращивания перемещается вдоль поверхности к изломам, образуя пленку. Таким образом, пленка развивается островками, которые разрастаются во всех направлениях, пока не сольются. Если вблизи зародыша концентрация электролита понижена, то условия благоприятны для роста пленки по нормали к поверхности.

Для гальванического осаждения меди разработано большое количество электролитов, которые, обычно, разделяют на две группы: кислые и щелочные. В нашем случае были выбраны кислые электролиты, вследствие их достаточно высоких экологических свойств, [3]. Но в случае применения щелочных электролитов легко достигается высокая рассеивающая способность электролита и осадки получают мелкокристаллические, что способствует повышению точности отсчетов интерферометрических полос при интерферометрическом определении толщины покрытия. Для получения качественного осадка, при применении кислых электролитов на основе CuSO_4 и H_2SO_4 , были поставлены опыты, при которых была определена оптимальная величина зернистости, которая была достигнута при плотности тока 2 А/дм^2 .

Выводы

- На кафедре Материаловедение КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана реализован технологический процесс, в котором формирования топологии кристалла преобразователя Холла.
 - Определена оптимальная плотность тока, при которой, при применении кислого электролита достигнута оптимальная зернистость осадка.
- Авторы благодарят Константинова Вячеслава Михайловича за информационную поддержку.

Список литературы

[1] Игуменов В.Т., Константинов В.М., Масюкова Г.В. Гальваноманнитный преобразователь. Патент РФ 2054757 публикация патента: 20.02.1996.

[2] И. М. Ковенский, В. В. Поветкин Металловедение покрытий: Учебник для вузов / – М.: «СП Интермет Инжиниринг», 1999. - 296 с.

[3] Гальваническое меднение / [Электронные ресурсы]. <https://zctc.ru/sections/cooper>

Скипер Андрей Владимирович – ст. преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: skiper60@yandex.ru

Егорова Оксана Юрьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: oksana.egorova95@yandex.ru

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

Д.А. Романов, И.А. Прохоров, А.Э. Волошин, В.Г. Косушкин

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛОВ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ И ТОПОГРАФИИ

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

Введение. Кристаллы - основа многочисленных приборов и устройств современной техники. Все реальные кристаллы содержат разнообразные несовершенства структуры, приводящие к нарушению трехмерной периодичности их строения: точечные дефекты, дислокации, поверхности раздела, микровыделения и включения иных фаз и т. п. Поскольку большая часть параметров кристаллов является «структурно-чувствительной», дефекты сильно, иногда кардинально, изменяют свойства кристаллов и оказывают непосредственное влияние на эксплуатационные характеристики приборов, изготовленных на их основе. Поэтому знание реальной структуры необходимо как для объяснения поведения кристаллов, так и для контроля качества и модификации технологии их выращивания.

Для изучения закономерностей формирования и контроля реальной структуры кристаллов в настоящее время используют широкий круг физических методов исследования, однако методы дифрактометрии высокого разрешения и рентгеновской топографии нашли в настоящее время наиболее широкое распространение в лабораторной практике для контроля реальной структуры почти совершенных кристаллов благодаря достаточно большой глубине проникновения рентгеновских лучей и чрезвычайно высокой чувствительности к малым (10^{-8} и менее) деформациям решетки присущей этим методам [1, 2].

В статье возможности рентгенодифракционных методов анализируются на примере исследования монокристаллов синтетического алмаза, которые благодаря уникальным свойствам: высокой твердости, химической и радиационной стойкости, малому коэффициенту теплового расширения и высокой теплопроводности [3] – находят все более широкое применение в различных областях науки и техники.

Схемы и методики исследований. При исследовании кристаллов методом рентгеновской дифрактометрии записывается график образца, называемый кривой качания. Она служит своего рода паспортом исследуемого кристалла, а степень отклонения параметров экспериментальных кривых (пикового отражения и полуширины кривой) от расчетных теоретических значений характеризует уровень структурного совершенства образца.

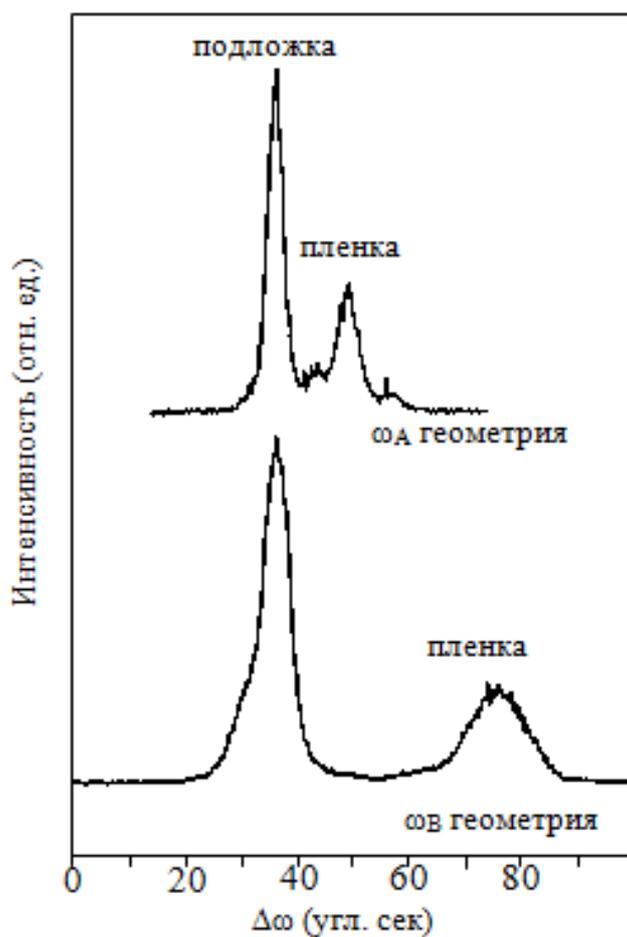


Рис. 1. Кривые качания, полученные в двух геометриях дифракции от области изотопически модифицированной эпитаксиальной пленки ^{13}C , выращенная на подложке алмаза природного изотопического состава группы Ib: CVD ^{13}C / HPHT ^{nat}C Ib, толщина пленки ~ 2 мкм, ориентация подложки (001), максимальная разориентация составляет $\Delta\varphi \sim 2^\circ$. $\text{CuK}_{\alpha 1}$ излучение, отражение 113 [4, 5]

Наиболее обширную информацию о различных несовершенствах кристаллической решетки дают рентгеновские топографические методы. Сущность метода рентгеновской топографии (рентгеновской дифракционной микроскопии) состоит в получении изображения кристалла в результате фиксации на фотопластинке или двухкоординатном CCD детекторе отдельного рефлекса и в возможности сопоставления отдельных деталей изображения с конкретными точками объекта. Детали изображения становятся доступными для наблюдения благодаря появлению при определенных условиях контраста на дефектах, который создается вследствие различной отражательной способности нарушенных и совершенных участков кристалла [6, 7].

На рис. 2 приведен пример двухкристальной рентгеновской топограммы пластины синтетического алмаза типа Ib с высоким содержанием азота. Выявляются многочисленные дефекты, образующиеся в процессе синтеза и обработки кристалла.

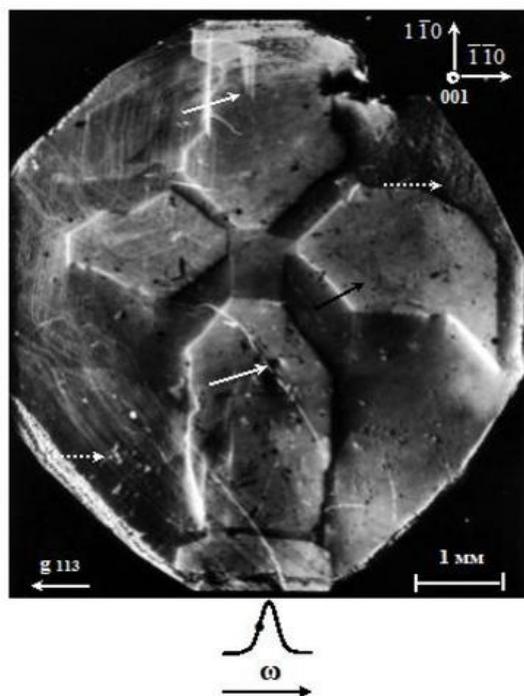


Рис. 2. Особенности реальной структуры сильно дефектного НРНТ кристалла алмаза типа Ib. Двухкristальная рентгеновская топограмма алмазной пластины ориентации (001), полученные на противоположных склонах кривой качания. $\text{CuK}_{\alpha 1}$ излучение, отражение 113, ω_B геометрия дифракции. Выявляется макронеоднородность распределения периода кристаллической решетки по площади пластины, дислокации (показаны белой стрелкой), дефекты упаковки (чёрная стрелка), границы между секторами роста, следы механических повреждений (пунктирная стрелка) и ряд других дефектов [8]

Релаксация упругих напряжений в эпитаксиальных структурах посредством пластической деформации начинается при толщинах плёнок, превышающих критические [9, 10], и сопровождается образованием вблизи межфазной границы (в нейтралях системы) дислокаций несоответствия (ДН). Это приводит к значительному повышению плотности дислокаций в пленках. Релаксационные процессы могут оказывать существенное влияние на дополнительную генерацию дислокаций и ухудшение структурных параметров CVD плёнок алмаза, особенно при выращивании толстых плёнок [11]. Поэтому определение толщины эпитаксиальных пленок является одной из важных задач дифракционного анализа.

Толщины пленок можно определять по осцилляциям интенсивности на кривых качания (рис. 3). Толщина пленки связана с периодом осцилляции интенсивности δ соотношением [2]:

$$t = \lambda \cdot \sin(\theta \pm \varphi) / \delta \cdot \sin 2\theta \quad (1)$$

где λ - длина волны; θ - угол Брэгга; φ - угол между отражающей плоскостью и поверхностью пленки; δ - период осцилляции интенсивности. Знак «+» относится к скользящему падению, знак «-» к скользящему отражению.

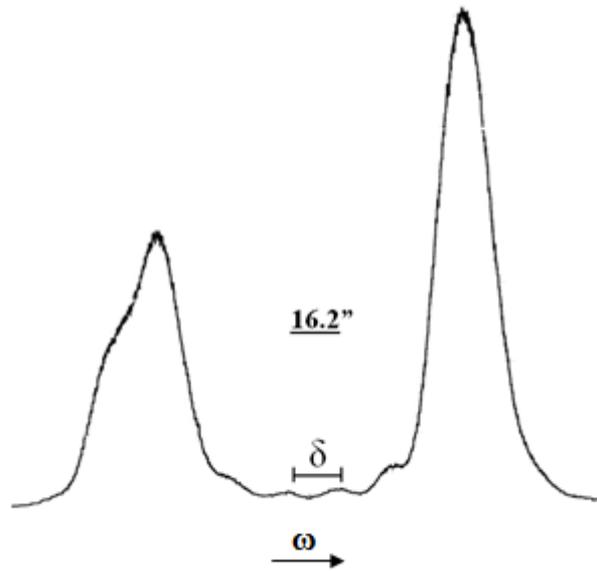


Рис. 3. Типичная двухкристальная кривая качания для эпитаксиальной структуры $Y_3Fe_5O_{12} / Gd_3Ga_5O_{12} (111)$ с интерференционными максимумами (Pendellösung). Пик отражения от подложки, слева. $CuK_{\alpha 1}$ излучение, отражение 880, ω_B геометрия дифракции (скользящее падение). По результатам расчетов толщина пленки составила 1,5 мкм

Выводы. Рентгенодифракционные исследования кристаллов являются обширной и интенсивно развивающейся областью науки. Представленные материалы свидетельствуют о широких возможностях использования дифракционных методов. Новые возможности проведения исследований открываются при использовании синхротронного излучения, характеризующегося чрезвычайно высокой интенсивностью излучения. Это позволяет существенно сократить время эксперимента, проводить исследования сильнопоглощающих кристаллов, исследовать быстропротекающие процессы (стробоскопическая топография), регистрировать объемное распределение дефектов и обеспечивает ряд других преимуществ [2]. Развитие этих методов позволяет целенаправленно подходить к вопросам формирования требуемых структурных характеристик в эпитаксиальных структурах. Без их применения практически невозможно решать задачи фундаментального и прикладного характера, связанные с получением кристаллов и их применением в микроэлектронике.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИОФ РАН В.Г. Ральченко и А.П. Большакову за предоставление образцов синтетических алмазов.

Работа в части развития рентгенодифракционных методов диагностики реальной структуры кристаллов выполнена при поддержке Федерального агентства научных организаций (соглашение № 007-ГЗ/Ч3363/26).

Список литературы

[1] Б.Г. Захаров, И.А. Прохоров, Е.А. Созонтов. Рентгенодифракционная диагностика реальной структуры кристаллов. В кн. Дефекты и физические свойства многокомпонентных электронных материалов. Калуга: КГПУ, 1999, С. 185-210.

[2] Bowen D.K., Tanner B.K. High Resolution X-ray Diffractometry and Topography. - London: Taylor and Francis Publ. 1998. P. 256.

[3] Wandersande J.W. // Properties and Growth of Diamond. London: INSPEC, IEE, 1994. P. 33.

[4] Д.А. Романов, И.А. Прохоров, С.С. Стрельченко, А.П. Большаков, А.А. Хомич, В.Г. Ральченко. Рентгенодифракционные исследования эпитаксиальных CVD пленок алмаза с модифицированным изотопическим составом // Научно-технические технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции Том 3: КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 2015. С.120-125.

[5] И. А. Прохоров, А. Э. Волошин, В. Г. Ральченко, А. П. Большаков, Д. А. Романов, А. А. Хомич, Е. А. Созонтов. Рентгенодифракционная характеристика эпитаксиальных CVD-пленок алмаза с природным и модифицированным изотопическим составом // Кристаллография, 2016, том 61, вып. 6. С. 945-952.

[6] Шульпина И.Л. Контраст дефектов в сильнопоглощающих кристаллах // Кристаллография, 1994, том 39, № 2. С.270-277.

[7] Шульпина И.Л. Рентгеновская дифракционная топография. Этапы и тенденции развития. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2000. №4. С. 3-18.

[8] Prokhorov I.A., Ralchenko V.G., Bolshakov A.P., Polskiy A. V., Vlasov A. V., Subbotin I. A., Podurets K. M., Pashaev E. M., and Sozontov E. A. Analysis of Synthetic Diamond Single Crystals by X-Ray Topography and Double-Crystal Diffractometry// Crystallography Reports. 2013. V. 58. № 7. P. 1010-116

[9] Matthews J.W., Mader S., Light T.B. Accommodation of Misfit Across the Interface between Crystals of Semiconducting Elements or Compounds// J. Appl. Phys. 1970. V. 41. P. 3800-3804.

[10] Matthews J.W. Defects Associated with the Accommodation of Misfit Between Crystals. // J. Vac. Sci. Technol. 1975. V. 12. No 1. P. 126-133.

[11] Д.А. Романов, И.А. Прохоров, А.Э. Волошин. Критические толщины псевдоморфных CVD - пленок алмаза // Научно-технические технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 15 – 17 ноября 2016 г. Т. 2. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. С.214-218.

Романов Даниил Алексеевич – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Oxly13@mail.ru

Прохоров Игорь Алексеевич – канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник ЛКМ ИК РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и Фотоника» РАН. E-mail: igor.prokhorov@mail.ru

Волошин Алексей Эдуардович – д-р физ.-мат. наук, зам. директора Института кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и Фотоника» РАН. E-mail: labsol@yandex.ru

Косушкин Виктор Григорьевич – д-р техн. наук, зав. кафедрой "Материаловедение" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kosushkin@gmail.com

О.Ю. Егорова, В.Г. Косушкин

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ КАК ОДИН ИЗ ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

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

Принцип метода электроосаждения. Принцип метода электроосаждения заключается в пропускании постоянного тока через водные растворы солей металлов для осаждения из них металлического порошка. Катод и анод, выполненные в форме пластин, погружают в электролит. В процессе электролиза на катоде выделяется металл в виде порошка, губки или дендрита. Порошок металлов периодически удаляется. Это позволяет получать порошок металла заданной зернистости и равномерного состава [1].

Большое внимание в последнее время уделяется созданию магнитных нанопроводов для их потенциального применения в средствах ультравысокой плотности магнитной записи. Большой прогресс достигнут в синтезе различных наноструктур с контролируемыми морфологией и свойствами. Нанопровода формируют электроосаждением в матрицах анодированного алюминиевого оксида (ААО) [2]. Размер пор в матрицах ААО можно постоянно контролировать и осаждение в матрицу ААО можно рассматривать как быстрый и дешевый способ приготовления высокоперпендикулярных магнитных анизотропных нанопроволок [3].

Нанопроволоки сплава $Fe_{1-x}Co_x$, особенно Fe_7Co_3 с объемно центрированной кубической (ДСС) структурой представляют интерес, потому что имеют большую одноосную магнитокристаллическую анизотропию и высокую намагниченность насыщения [4].

Дифрактограммы образцов осажденных нанопроводов Fe_7Co_3 показаны на рис. 1. Результаты рентгеновской дифракции показали наличие трех дифракционных пиков, которые находятся в согласии с данными по объемному материалу [4]. Эти пики показывают, что осаждение нанопроволоки Fe_7Co_3 реализовывалось с преимуществом направления роста [110] вдоль кристаллографической оси.

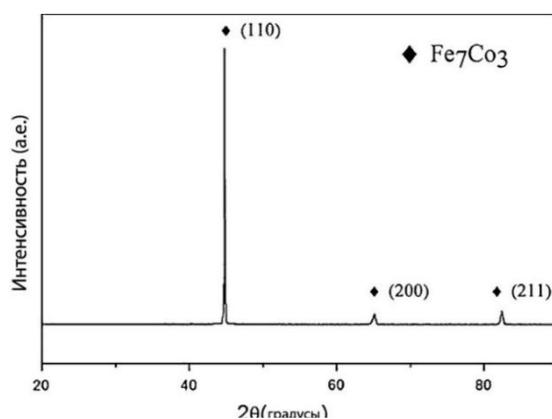


Рис. 1. Дифрактограмма нанопроволок Fe_7Co_3 встроенных в поры ААО шаблона

Изображения на СЭМ на рис. 2 показывают вид сверху и поперечный разрез пор и алюминиевой матрицы, которая используется для осаждения сплава. Из рис. 2а установлено, что средний диаметр пор около 40 нм, а длина нанопор около нескольких десятков микрон. Диаметр нанопор может контролироваться изменением времени анодирования.

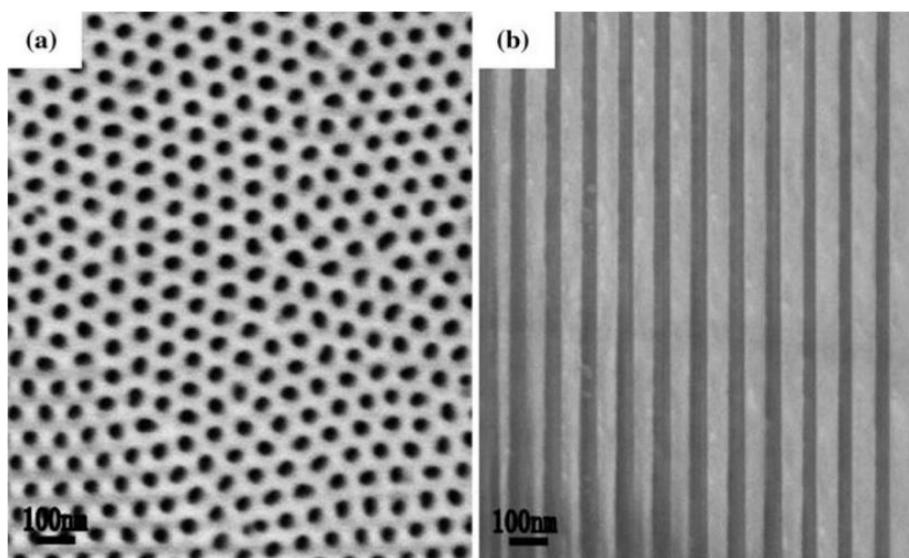


Рис. 2. СЭМ изображения ААО шаблона (а) вид сверху (b) вид сбоку

Рис. 3 представляет схематическую диаграмму процесса роста нанопроводов Fe_7Co_3 в процессе осаждения [4]. Имеется три сорта атомных образований монокристаллического нанопровода, представленных на диаграмме, которые согласуются с результатами рентгеновского анализа образца. На данной схеме показаны три простых варианта атомных образований (укладок) соответствующих трем кристаллографическим направлениям [110], [200] и [211].

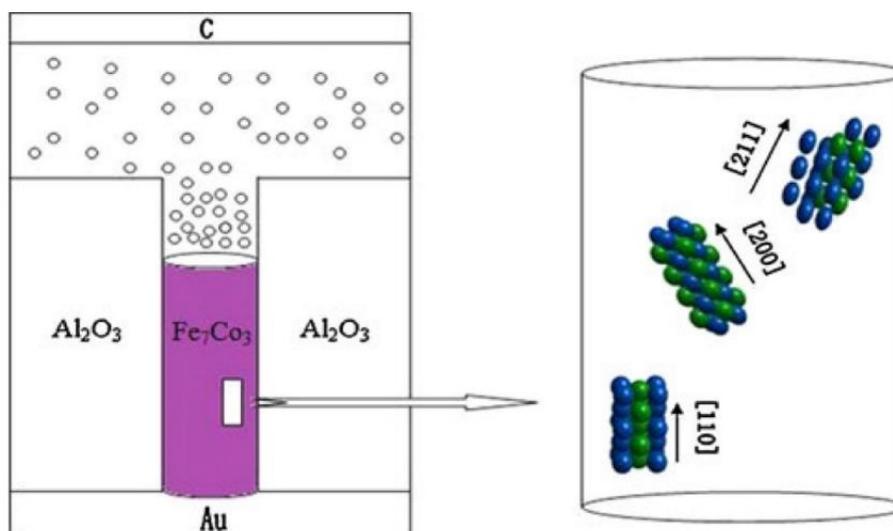


Рис. 3. Схематическое изображение процесса роста нанопроводов Fe_7Co_3

На рис. 4а представлена ПЭМ картина выращенных нанопроводов Fe_7Co_3 , освобожденных от матрицы. Диаметр одной нанопроволоки равен среднему диаметру пор в матрице и длина нанопроводов 2,5 мкм.

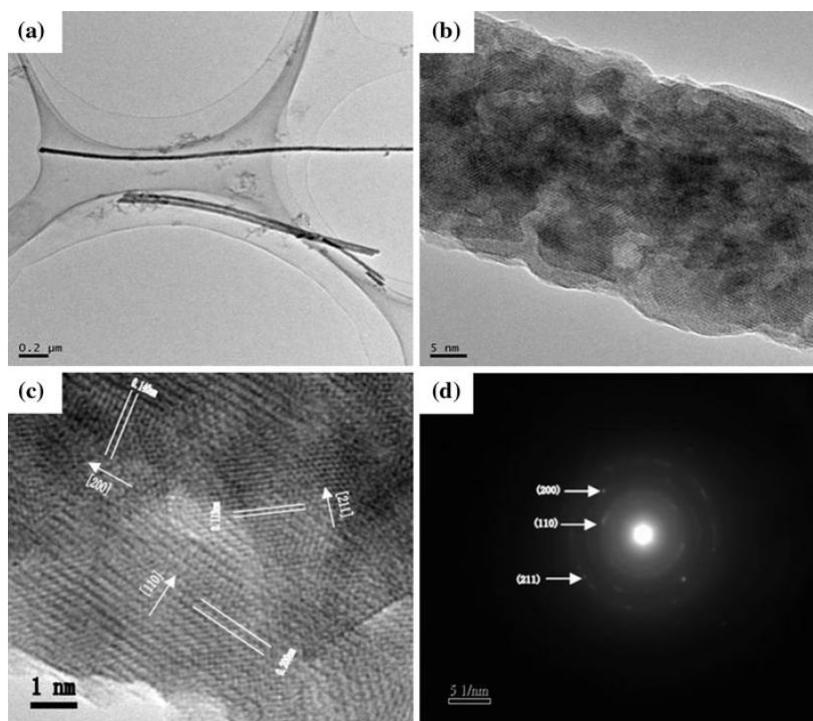


Рис. 4. Микроструктуры свежесинтезированных массивов нанопроводов Fe_7Co_3 . (а) ПЭМ изображение свежесинтезированных массивов нанопроводов Fe_7Co_3 . (б) ПЭМ изображение одного нанопровода Fe_7Co_3 с диаметром 40 нм. (с) Соответствующее ПЭМВР изображение. (д) ЭДВО изображение одного нанопровода

Установлено несколько ответвлений, прикрепленных к нанопроводам (рис. 4а), которые являются остатками Al матрицы. Из рис. 4б видно, что нанопровода Fe_7Co_3 являются поликристаллическими структурами, что позволило измерить межплоскостные расстояния, находящиеся в согласии с кристаллическими плоскостями (110), (200) и (211) Fe_7Co_3 , которые составили 0,200; 0,140 и 0,113 нм.

Для того чтобы проиллюстрировать мягкие магнитные свойства нанопроводов Fe_7Co_3 , использованы нанопровода Fe для сравнения.

Рис. 5а представляет петли гистерезиса нанопроводов Fe_7Co_3 и Fe при комнатной температуре во внешнем поле, приложенном параллельно осям нанопроводов. Установлено, что нанопровода Fe_7Co_3 обладают наивысшей намагниченностью насыщения, несмотря на то, что нанопровода Fe_7Co_3 и Fe имеют близкую и низкую коэрцитивность [4]. Начальные магнитные кривые нанопроводов Fe_7Co_3 и Fe показаны на рис. 5б, из которого очевидно, что магнитная проницаемость нанопроводов Fe_7Co_3 намного выше, чем у нанопроводов Fe. Установлено, что нанопровода Fe_7Co_3 являются отличным магнитомягким материалом.

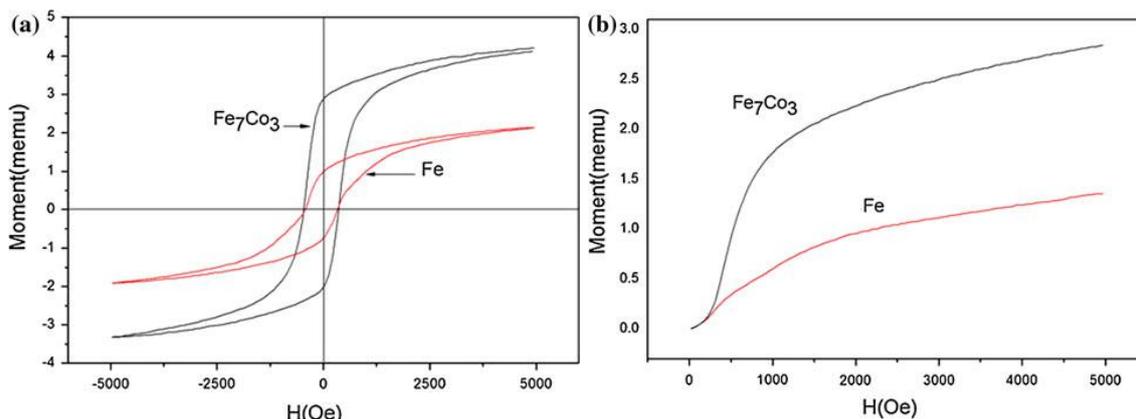


Рис. 5. Магнитные свойства нанопроводов из сплава Fe₇Co₃ и Fe:

(а) Петля гистерезиса сплава Fe₇Co₃ и нанопроводов Fe

(б) Начальная магнитная кривая сплава Fe₇Co₃ и нанопроводов Fe

Использование программы COMSOL Multiphysics при моделировании процесса электроосаждения. Примером моделирования процесса электроосаждения в программе COMSOL Multiphysics является Copper Deposition in a Trench (Осаждение меди в траншеи).

Геометрия модели показана на рис. 6. Верхняя горизонтальная граница представляет собой анод, а катод располагается внизу. Вертикальные стенки на главном электроде считаются изолированными.

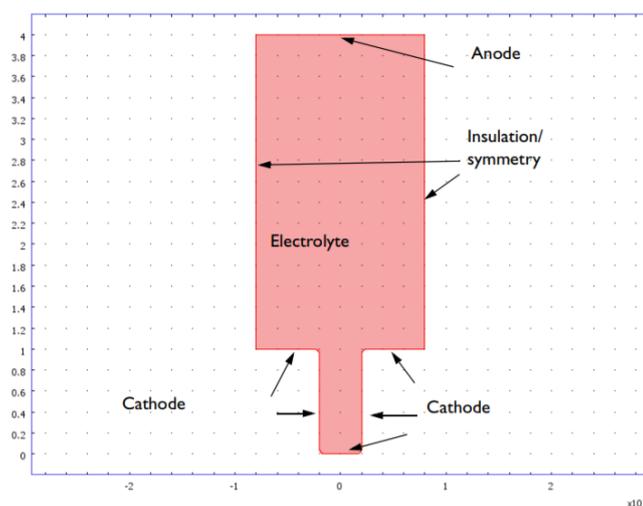


Рис. 6. Геометрия модели

На рис. 7 изображены распределения концентрации ионов меди, изопотенциальных линий, линий плотности тока и смещения поверхности катода и анода после 14 секунд работы. Также показано, что отверстие полости начинает сужаться из-за неоднородной толщины осаждения. Этот эффект может нанести ущерб качеству осаждения, поскольку захваченный электролит может в последствии вызвать коррозию компонентов в печатной плате. Кроме того, моделирование показывает существенное изменение концентрации ионов меди в ячейке. Такие изменения в конечном итоге вызывают конвекцию в ячейке [5].

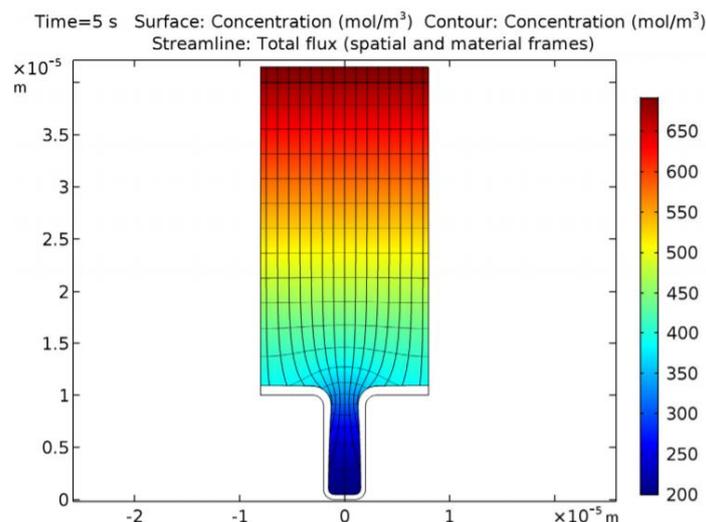


Рис. 7. Концентрация ионов меди ($\text{моль}/\text{м}^3$), изопотенциальные линии, линии плотности тока и смещение электрода в ячейке после 5 секунд работы

На рис. 8 показана толщина осаждения вдоль одной из вертикальных катодных поверхностей. Линии показывают развитие неоднородного осаждения из-за неоднородного распределения плотности тока [5]. Этот эффект усугубляется истощением ионов меди по глубине полости.

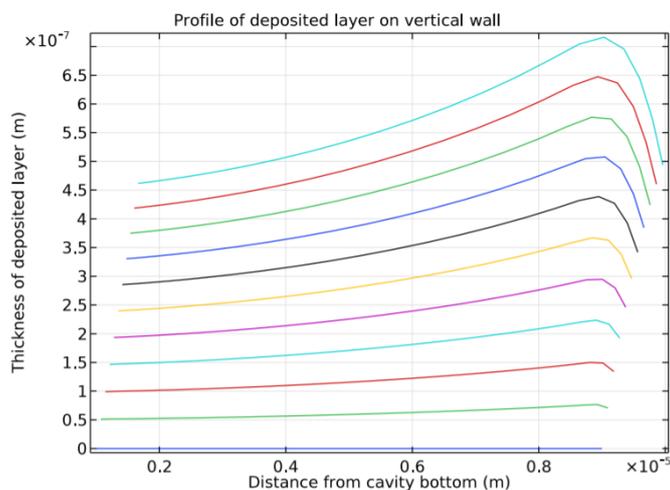


Рис. 8. Толщина осаждения вдоль границ вертикального катода. Строки генерируются с шагом 0,4 секунд от 0 до 4,4 секунд

Несмотря на простоту этой модели, ее можно легко расширить до более сложной геометрии или включить влияние других ионов на процесс.

Достоинствами электроосаждения являются экологическая чистота процесса, возможность воздействия на свойства осаждаемого металла или сплава посредством изменения параметров электролиза, рафинирование материала в процессе электролиза, высокая производительность и экономическая эффективность.

К недостаткам электроосаждения можно отнести высокую энергоёмкость, наличие специального оборудования и выбора реагентов, диссоциирующих в растворителе.

Вывод. Показана возможность использования программы COMSOL Multiphysics для моделирования процесса получения нанопроволок методом электроосаждения.

Список литературы

[1] Рыжонков ДИ. Наноматериалы: учебное пособие /Д.И. Рыжонков, В.В. Лёвина, Э.Л. Дзидзигури. - 2-2 изд.-М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2017. – 365 с.

[2] Chu SZ, Inoue S, Wada R, Kurashima K. Fabrication of integrated arrays of ultrahigh density magnetic nanowires on glass by anodization and electrodeposition. *Electrochim Acta* 51(2005)820.

[3] Yang W., Cui C., Sun J., Baoli W. Fabrication and magnetic properties of Fe₃Co₇ alloy nanowire arrays. *J Mater Sci* 45(2010)1523.

[4] J.Yang, C.Cui, W.Yang, B.Hu, J.Sun. Electrochemical fabrication and magnetic properties of Fe₇Co₃ alloy nanowire array. *J.Mater.Sci.* 46(2011)2379.

[5] Copper Deposition in a Trench / [Электронный ресурс]. https://www.comsol.com/model/download/393101/models.edecm.cu_trench_deposition.pdf

Егорова Оксана Юрьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: oksana.egorova95@yandex.ru

Косушкин Виктор Григорьевич – д-р техн. наук, зав. кафедрой "Материаловедение" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kosushkin@gmail.com

СЕКЦИЯ 12

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ В ЭЛЕКТРОНИКЕ И МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

А.И. Кузенков, С.А. Лоскутов

АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

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

Введение. Подавляющее большинство электронных устройств строится на базе полупроводниковых элементов. Использование полупроводников позволяет миниатюризировать электронные приборы путем интеграции множества компонентов на одном кристалле, значительно снизить потребляемую мощность и напряжение питания, повысить надежность. Однако полупроводники подвержены множеству дестабилизирующих факторов, важнейшим из которых является температура. Как же определить температуру внутри проектируемого модуля, достаточную площадь радиаторов и количество вентиляторов? Производство опытных образцов таких устройств может быть довольно дорогостоящим, а зачастую и невозможным по разным причинам. Выходом может служить тепловое моделирование в различных программах.

Постановка задачи. Цель моделирования – разработка с помощью теплового анализа в среде SolidWorks Flow Simulation оптимальной для отвода тепла конструкции макетного образца модуля электропитания. Необходимость предварительного теплового моделирования обусловлена следующими проблемами:

- высокая выходная мощность модуля (не менее 850 Вт) и, следовательно, высокая мощность рассеивания (не менее 220 Вт при КПД модуля 80%);
- ограниченные габаритные размеры (согласно стандарту VITA 62) и масса (не более 2,5 кг) модуля;
- высокая плотность установки ЭРЭ;
- температура теплоотводящего основания не должна превышать 95 °С.

Анализ теплового режима работы источника питания. На основе габаритных и присоединительных размеров в САПР SolidWorks была разработана упрощенная модель источника питания для теплового анализа и проведен анализ теплового режима работы в среде Flow Simulation с различными конструкциями и начальными условиями.

На первом этапе были проработаны два варианта конструкции. Первый вариант подразумевает корпус из трех деталей (теплоотводящее основание, и две направляющие для крепления клиновых механизмов). Во втором варианте корпус является монолитным и фрезеруется из цельной алюминиевой плиты. Тепловой анализ модели с корпусом из трех составных частей показал, что температура модуля на 7-10 °С выше, чем у модуля с цельным корпусом. В связи с этим дальнейший анализ проводился для монолитной конструкции модуля.

Анализ модели с различными толщинами основания показал, что максимальная температура падает с увеличением толщины. Однако с увеличением толщины ухудшаются массогабаритные показатели (прибавление одного миллиметра толщины приводит к увеличению массы на 100 грамм). С учетом этого было принято решение выбрать толщину основания 5 мм.

Таблица 1

Толщина основания, мм	2	3	5	7
Температура основания, °С	91	88	83	81

Анализ модели с различным зазором между основанием и передней стенкой показал, что даже при минимальном зазоре температура модуля превышает предельно допустимую. Для обеспечения наибольшего прилегания поверхностей необходимо изготовить корпус модуля с максимально возможными показателями шероховатости и плоскостности.

Таблица 2

Толщина основания, мм	0	0,1	0,2
Температура основания, °С	83	98	117

Заключение. Таким образом, в процессе теплового анализа выбрана оптимальная конструкция модуля и толщина его основания, сделан вывод о недопустимости зазора между основанием модуля и стенкой шкафа ЭВМ. При соблюдении последнего условия температура модуля не превысит предельно допустимую.

Список литературы

[1] *SolidWorks Russia* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.solidworks.ru>.

[2] *Горячев Н. В., Юрков Н. К.* Программные средства теплофизического проектирования печатных плат электронной аппаратуры // Молодой ученый. – 2013. – № 10. – С. 128-130.

Кузенков Андрей Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: kuzya974@yandex.ru

Лоскутов Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: SergeL-75@yandex.ru

Е.А. Лутовин, Д.В. Андреев

ВЛИЯНИЕ ДЕГРАДАЦИИ РЕЗИСТИВНОЙ ПЛЕНКИ НА ДРЕЙФ НАПРЯЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ В ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ

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

Микросхема представляет собой прецизионный ОУ, предназначенный для использования в радиоэлектронной аппаратуре народнохозяйственного назначения с расширенным диапазоном рабочих температур.

При изготовлении микросхем было испробовано множество различных режимов формирования резистивных пленок, для получения необходимых значений $R_k < 2 \text{ Ом}$, $\rho_s \leq 1000 \text{ Ом/}\square$, $\text{ТКС} < 4 \cdot 10^{-4}$. Необходимые параметры названные выше удалось получить путем вжигания в N_2 , при $T = 475^\circ\text{C}$, в течении 20 минут после термокомпрессии.

Для сравнительного исследования влияния деградации резистивной пленки на дрейф напряжения смещения нуля, были взяты 5 образцов из полученных микросхем. Необходимо отметить, что лазерная подгонка резисторов проводилась только для тех микросхем, которые этого требовали, т.е. имели завышенное напряжение смещения нуля (U_{i0}). В качестве фактора, приводящего к деградации пленок выбрано проведение электротермо-тренировки.

На 1-ом этапе исследования были проведены измерения U_{i0} пяти микросхем в н.у, при $T = -60^\circ\text{C}$ и при $T = 125^\circ\text{C}$ до проведения ЭТТ, значения которого приведены в таблице 1.

Таблица 1

Полученные значения U_{i0} до ЭТТ

№ ИС	$U_{i0}, \text{мкВ}$		
	в н.у	при $T = -60^\circ\text{C}$	$T = 125^\circ\text{C}$
1	-3.899	-11.7	-8
2	14.79	24.9	1.9
3	-4.3	12.79	-16.29
4	-2.9	23.4	-24.9
5	-7.399	18.9	-7.899

На втором этапе исследования была проведена электротермо-тренировка. Микросхемы работали под нагрузкой в течении десяти суток при $U_{\text{сст}} = 15\text{В}$ и при $T = 125^\circ\text{C}$, после чего было измерено напряжение смещение нуля, значение которого представлено в таблице 2.

Таблица 2

Полученные значения U_{i0} после ЭТТ

№ ИС	$U_{i0}, \text{мкВ}$		
	в н.у	при $T=-60^\circ\text{C}$	$T=125^\circ\text{C}$
1	-9.8	-18.69	-2.6
2	13.5	38.2	7.5
3	-5.9	14.79	-6.6
4	5.399	16.2	-2.9
5	-9.9	10.4	-9.9

Третьим этапом проводился расчет дрейфа U_{i0} до ЭТТ и после, а также сравнение полученных показаний, приведенное в таблице 3.

Таблица 3

Сравнение значений дрейфа до ЭТТ и после ЭТТ

№ ИС	Дрейф до ЭТТ			Дрейф после ЭТТ		
	От 25 до -60	От 25 до 125	От -60 до 125	От 25 до -60	От 25 до 125	От -60 до 125
1	0.091776471	0.04101	0.022167568	0.104588235	-0.072	-0.086972973
2	-0.177764706	0.1289	0.069675676	-0.290588235	0.06	0.165945946
3	-0.201058824	0.1199	0.964810811	-0.213411765	0.097	0.115621622
4	-0.309411765	0.22	0.118918919	-0.127070588	0.08299	0.103243243
5	-0.3094	0.005	0.002702703	-0.238823529	0	0.10972973

Из таблицы видно, что только у микросхем №1 и №3 значение дрейфа после ЭТТ практически не изменилось относительно дрейфа до ЭТТ.

На четвертом этапе для определения видимых следов деградации резистивных пленок было произведено вскрытие микросхем механическим методом. При визуальном осмотре поверхности кристаллов было установлено, что на микросхемах №1 и №3 не проводилась лазерная подгонка U_{i0} . При анализе остальных микросхем было установлено, что быстрый нагрев (и последующее охлаждение) пленки и разрушение материала, находящегося непосредственно у края, выжженного лазером отверстия и не подвергнувшегося стабилизации или пассивации, приводят к нестабильности во времени (послеподгоночный дрейф). В результате сопротивление точно подогнанного резистора может выйти за пределы допуска, меняется также и температурный коэффициент сопротивления. С целью минимизации величины «поврежденного» токового пути и избавления от указанных выше эффектов были внесены изменения в типы применяемых разрезов, но в нашем случае лазерная подгонка проводилась вручную без учета типа используемого реза, что привело к деградации резистивной пленки у краев выжженных лазером отверстий.

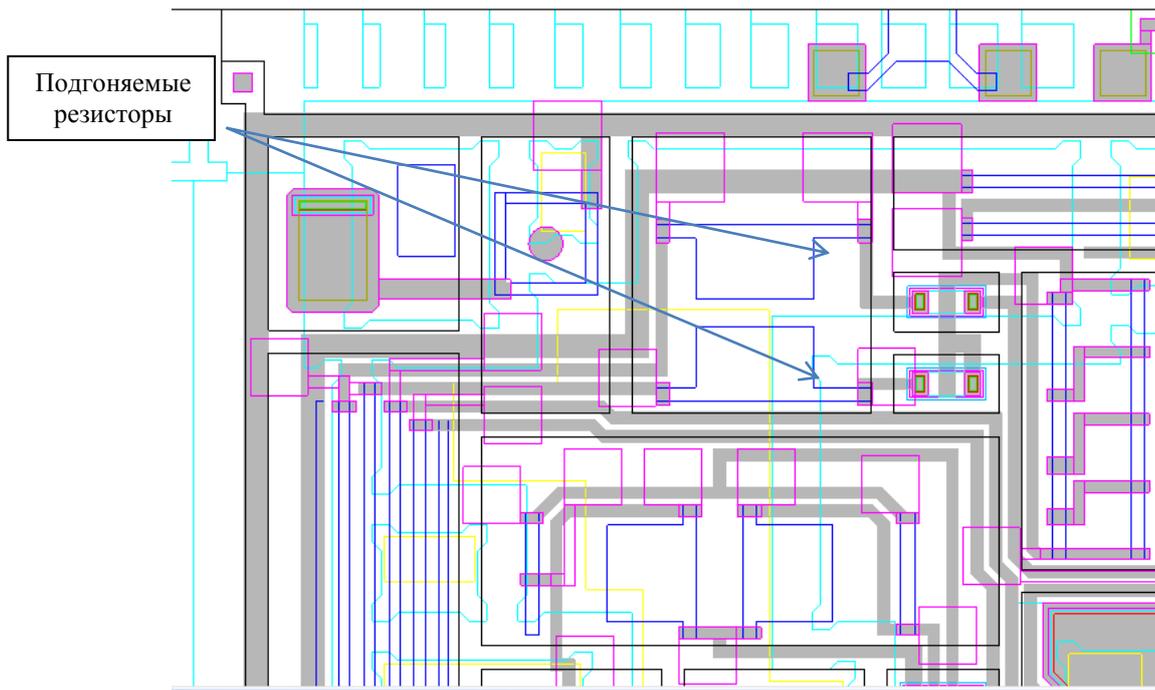


Рис. 1. Фрагмент совмещенной топологии, с указанием пленочных резисторов, подгонкой сопротивления которых подгоняется U_{i0}

Список литературы

[1] Deepu Roy, Characterization of electrical contacts for phase change memory cells, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2011. URL: <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/6034886> (дата обращения 19.02.2018).

[2] Кузин С.М., Павасюк В.И., Мокеров В.Г., Исаев В.В. Обзоры по электронной технике, Сер.8 Управление качеством, Метрология, Испытания. Электрический тестовый контроль на этапах создания интегральных микросхем. *Центральный научно-исследовательский институт «ЭЛЕКТРОНИКА»*, 1989, №8, с.1-33.

[3] Сурменко Л.А., Соколова Т.Н., Конюшин А.В., Самаркин Ю.Д., Калмыков А.В. Обзоры по электронной технике, Сер.7, Технология, организация производства и оборудование. Лазерная функциональная подгонка элементов и узлов изделий электронной техники. *Центральный научно-исследовательский институт «ЭЛЕКТРОНИКА»*, 1987, №13, с.1-63.

Лутовин Евгений Анатольевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: lutovine@gmail.com

Андреев Дмитрий Владимирович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

С.А. Лоскутов, Д.В. Хачев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЕМКОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ SMD КОНДЕНСАТОРОВ ОТ ПРИЛОЖЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В СРЕДЕ MATLAB

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

Электрические конденсаторы – наиболее массовые изделия, широко используемые в радиоэлектронной аппаратуре. В связи с быстрым развитием современной электроники потребность в конденсаторах непрерывно возрастает. В настоящее время создана довольно широкая номенклатура этих изделий и продолжают разрабатываться новые типы с более высокими электрическими и эксплуатационными характеристиками [1].

Столь широкое распространение керамических конденсаторов вызвано рядом их преимуществ, к числу которых относятся:

- возможность реализации широкого диапазона емкостей, от долей пикофарад до сотен микрофарад, т.е. девять порядков величины;
- разнообразие электрических характеристик, в том числе обеспечение заданных значений температурного коэффициента емкости (ТКЕ), практически неограниченный диапазон частот и т. д.;
- высокая надежность и работоспособность в самых жестких эксплуатационных условиях;
- простота конструкции и связанные с ней низкая трудоемкость, материалоемкость и стоимость [2].

Однако в настоящее время актуальной является проблема влияния типоразмера корпуса на вольт-фарадные зависимости керамических SMD конденсаторов. Так как данные зависимости имеют нелинейный характер и существенное различие для разных типоразмеров и типов конденсаторов, то возникла потребность произвести математическое описание вольт-фарадных зависимостей в среде Matlab. Данный программный продукт является достаточно точным решением среди остального ПО, поэтому он был выбран в качестве базового [3].

В качестве входных данных были выбраны уже полученные ранее зависимости емкости от напряжения для разных типоразмеров корпуса и типов диэлектриков: X5R, X7R, Y5V, Z5U и NP0. В результате проведения эксперимента была получена зависимость изменения емкости керамических SMD конденсаторов от приложенного к ним напряжения. На рисунке 1 представлены зависимости для конденсаторов фирмы YAGEO с типами диэлектриков NP0, Y5V и X7R.

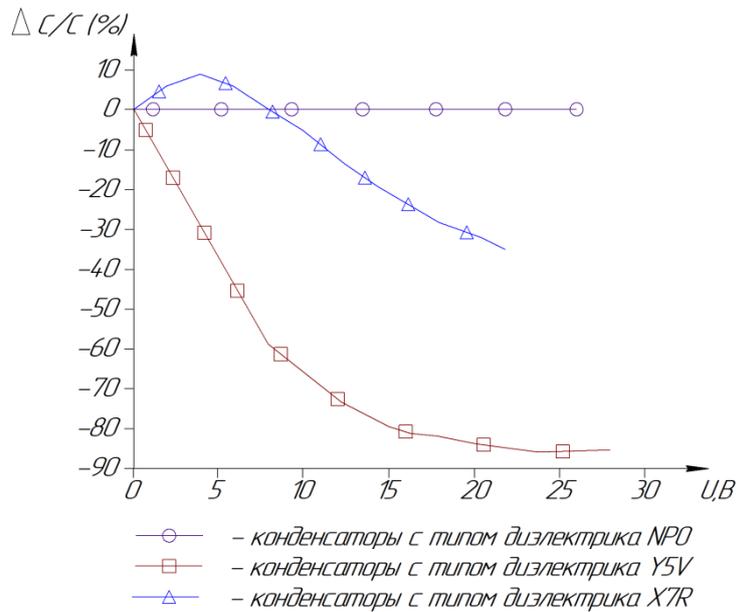


Рис. 1. Зависимость емкости конденсаторов фирмы YAGEO от приложенного напряжения

Из данного рисунка видно, что самыми стабильными показателями обладают конденсаторы с диэлектриком NP0. Их изменение емкости варьируется в минимальных пределах. У изделий с диэлектриком Y5V с увеличением напряжения емкость уменьшается на величину до 40%, а у X7R – практически до 90%, что является недопустимым в устройствах, к которым предъявляются повышенные требования вследствие применения их в изделиях специального назначения.

Далее, следует рассмотреть зависимости изменения емкости конденсаторов с диэлектриком X5R двух разных производителей. Это позволит нам узнать насколько разнятся вольт-фарадные зависимости, а также качество исполнения таких изделий у разных компаний-изготовителей. Полученные графики представлены ниже на рисунке 2:

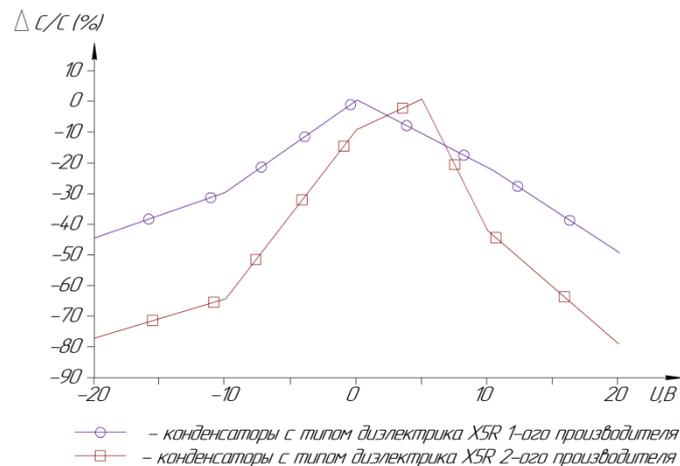


Рис. 2. Зависимость емкости конденсаторов разных производителей от приложенного напряжения

В данном случае можно отметить, что у двух разных производителей сильно расходится корреляция емкости от приложенного напряжения. Из чего можно прийти к заключению, что одинаковые конденсаторы от разных производителей не дают гарантию идентичности показателей в одинаковых эксплуатационных условиях.

При помощи пакета MatLab были получены интерполированные графики зависимостей емкости от напряжения для различных типов диэлектриков при помощи полиномов Лагранжа. Результаты представлены на рисунках 3–4, которые расположены ниже.

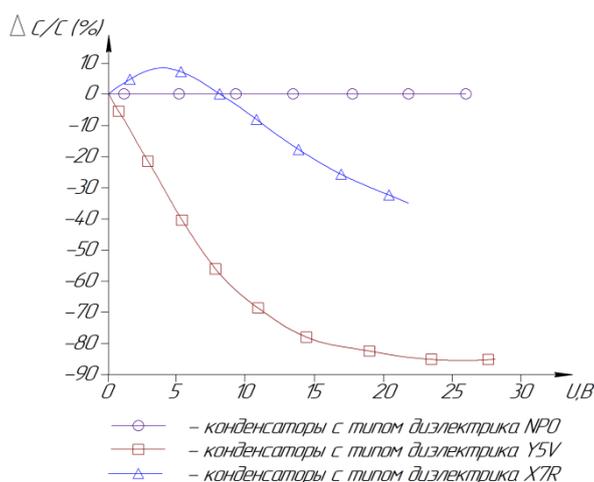


Рис. 3. Интерполированная зависимость емкости конденсаторов фирмы YAGEO от приложенного напряжения

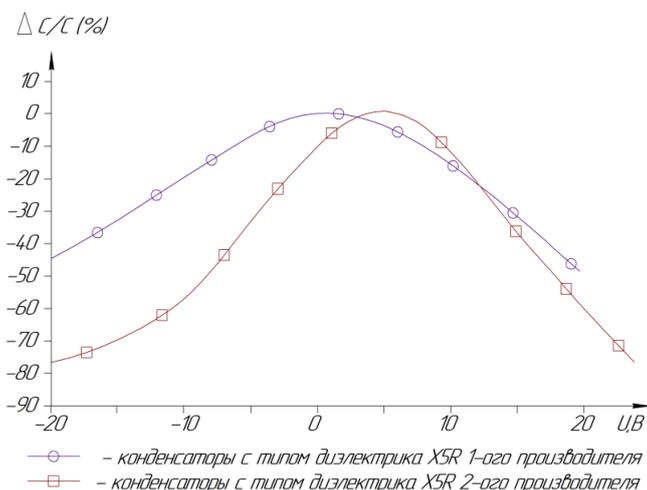


Рис. 4. Интерполированная зависимость емкости конденсаторов разных производителей от приложенного напряжения

Так же были получены математические уравнения, которые описывают эти зависимости. Представим их ниже:

$$1) f(x) = 0.0002058 \cdot x^4 - 0.01671 \cdot x^3 + 0.5608 \cdot x^2 - 10.12 \cdot x + 0.4247$$

— для диэлектрика Y5V

2) $f(x) = -0.0004476 \cdot x^4 + 0.0374 \cdot x^3 - 0.9376 \cdot x^2 + 5.76 \cdot x - 0.8042$ – для диэлектрика X7R

3) $f(x) = -0.0002009 \cdot x^4 + 0.02208 \cdot x^3 - 0.7516 \cdot x^2 + 5.721 \cdot x + 7.007$ – для диэлектрика Z5U

4) $f(x) = 0.0003371 \cdot x^4 - 0.005744 \cdot x^3 - 0.2743 \cdot x^2 + 2.751 \cdot x - 10.63$ – для диэлектрика X5R

Где $f(x)$ – изменение емкости керамического конденсатора [%], а x – напряжение, приложенное к конденсатору [В].

В результате выполненных исследований был сделан вывод о том, что емкость SMD конденсаторов в реальных эксплуатационных условиях сильно отличается от номинальной, заявленной производителем. Эта проблема с каждым днем становится все более и более актуальной из-за тенденции уменьшения типоразмеров не только керамических конденсаторов, но и аппаратуры в целом. Чтобы обезопасить себя от подобного рода осложнений, следует всегда обращаться к нормативно-технической документации, представляемой производителем. Но, к сожалению, не каждый из них указывает отклонение показателей в различных условиях применения. Именно поэтому, при помощи полученных уравнений можно ориентировочно рассчитать, как будет вести себя конденсатор в рабочем режиме. Данная методика позволяет сократить трудоемкость выбора емкости конденсатора при разработке радиоэлектронной аппаратуры.

Список литературы

[1] М.Н. Дьяконов, В.И. Карабанов, В.И. Пресняков и др. Справочник по электрическим конденсаторам. – М.: Радио и связь, 1983. – 576 с.

[2] Б.А. Ротенберг. Керамические конденсаторные диэлектрики. – СПб.: ОАО НИИ «Гириконд», 2000. – 246 с.

[3] А.Скрипнииков. Керамические конденсаторы: современное состояние и перспективы развития. Компоненты и технологии, №6, 2001.

[4] И.В.Черных. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем. – СПб.: ДМК Пресс, 2008. – 400 с.

Лоскутов Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: SergeL-75@yandex.ru

Хачев Дмитрий Валерьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: khachev@yandex.ru

В.Е. Драч, П.А. Максимов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРА ШУМА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

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

Конкурентоспособность радиоэлектронных устройств, главным образом зависит от оперативности, качества и правильности их разработки, которые, в свою очередь, зависят от уровня применения компьютерных технологий на всех этапах жизненного цикла изделия. Радиоэлектронные устройства отличаются по сложности реализации, условиям эксплуатации, а также большим количеством внешних воздействий, что ставит перед их разработчиками задачу удовлетворения зачастую противоречивых требований. Поэтому важную роль играет этап проектирования, который занимает много времени, и связан с формированием основной части информации об изделии, обеспечивающей выпуск различных комплектов документации.

Одной из главных проблем проектирования электронных устройств является возрастающее энергопотребление схемы. Вследствие этого, возрастает температура компонентов схемы, что как правило, негативно сказывается на её работе.

Параметры полупроводниковых приборов в значительной степени зависят от отлаженности технологического цикла изготовления р-п-переходов, их температурной стабильности при взаимодействии с атмосферой, массо-габаритных показателей корпуса изделия и т.д. Оптимальной является температура окружающей среды в диапазоне от -5 до +40 °С.

При работе в полупроводниковых приборах рассеивается часть подводимой к ним электрической мощности. Вследствие этого температура внутренних областей и корпуса полупроводникового прибора превышает температуру окружающей среды. Температура р-п-переходов и внутренних областей полупроводниковых приборов является важным фактором, от которого зависит работоспособность этих приборов.

Для нормальной работы полупроводниковых приборов необходимо, чтобы температура переходов была всегда ниже предельной. Число отказов уменьшается в 2 раза, если температура р-п-переходов ниже предельной на 10 °С [1].

При повышении температуры у транзисторов снижаются предельные данные (мощность, напряжение, ток) и изменяются почти все их параметры, вследствие этого изменяются и общие параметры электрической схемы [3].

В качестве примера было выполнено моделирование электрической схемы усилительного каскада генератора шума в среде Multisim 12.0. В результате были получены графики зависимости АЧХ и ФЧХ от температуры, которые представлены ниже:

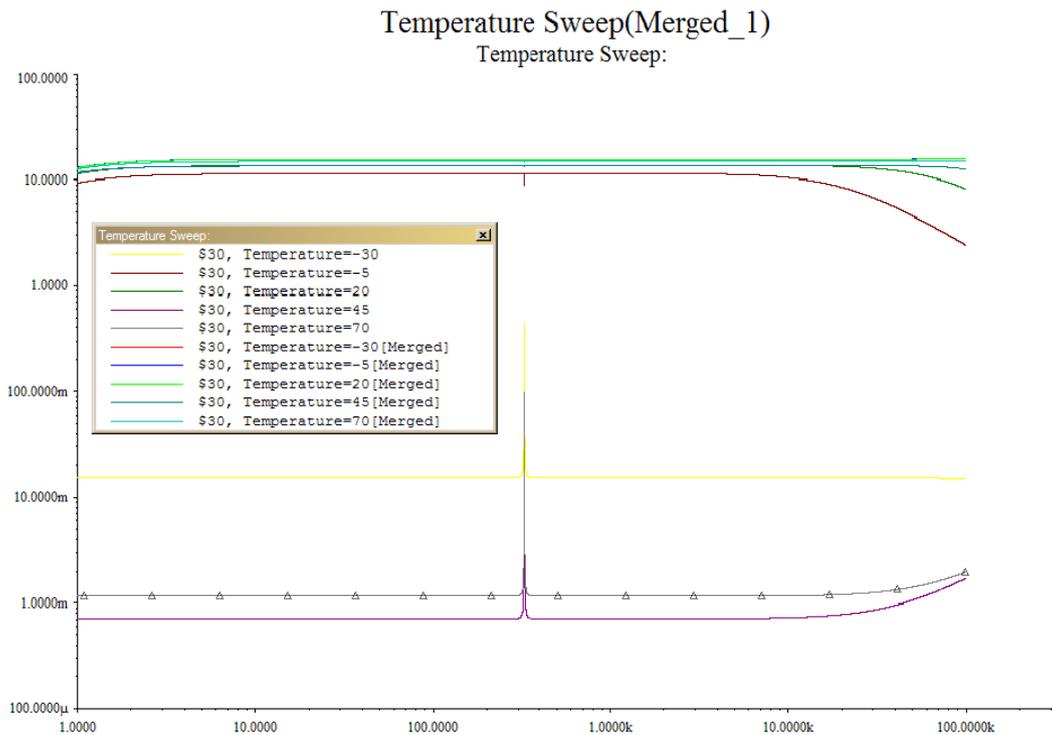


Рис. 1. Температурный анализ АЧХ

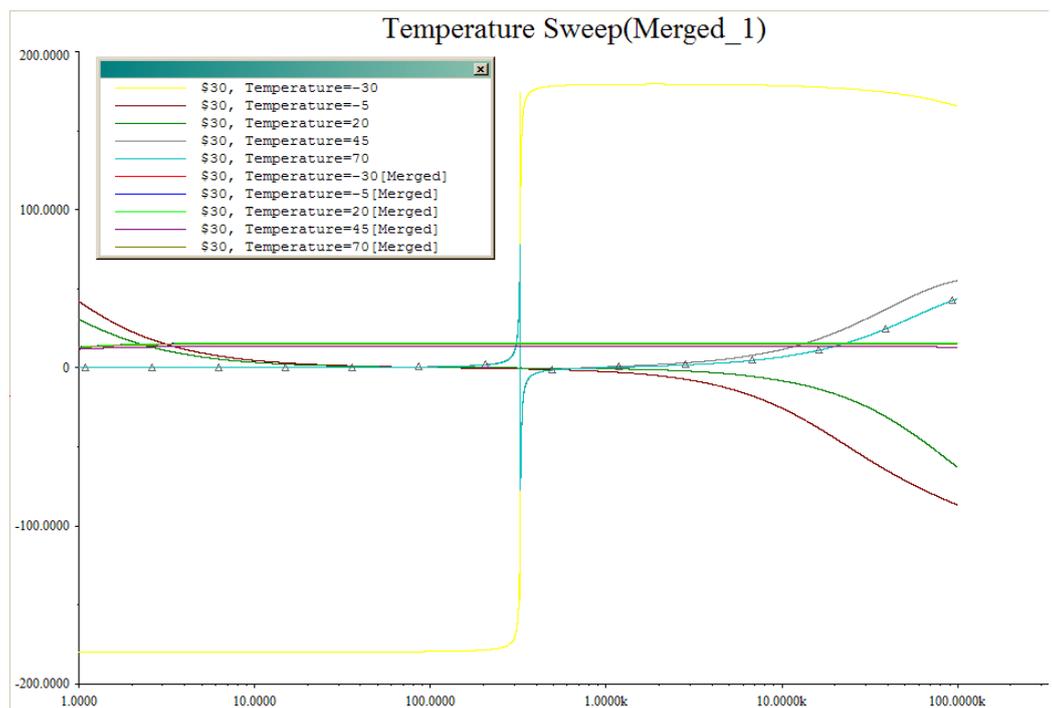


Рис. 2. Температурный анализ ФЧХ

Как видно из графиков, температурные изменения являются критическими для функционирования схемы. Нормальная работа УМЗЧ гарантирована только в пределах от -5 до 30 градусов Цельсия.

Максимальные рассеиваемые мощности полупроводников приборов, которые указаны в справочниках являются предположительными, так как

они могут быть реальными только при определенных условиях окружающей среды, как правило до 20-25°C, нормальном давлении и идеальных радиаторах, чего на практике почти никогда не бывает [2]. Поэтому для обеспечения надежности приборов, важно проводить тепловое моделирование в САПР на стадии эскизного проектирования, в результате которого можно заранее оценить и скорректировать все "узкие места", что впоследствии предотвратит ошибки на дальнейших этапах проектирования, увеличит долговечность и безотказность работы прибора.

В заключении хотелось бы отметить, что влияние температуры негативно сказывается на различных выходных параметрах полупроводниковых приборов. Вследствие чего, все характеристики конечного изделия ухудшаются до минимальных величин, что не приемлемо в устройствах специальной техники.

Список литературы

[1] Камышная Э.Н., Маркелов В.В., Соловьев В.В. Конструкторско-технологические расчеты электронной аппаратуры: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2014. – 165 с.

[2] Маркелов В.В., Власов А.И., Камышная Э.Н. Системный анализ процесса управления качеством изделий электронной техники // Надежность и качество сложных систем. 2014. № 1 (5). С. 35-42.

[3] Москаленко К.И. Моделирование тепловых режимов элементов на печатной плате средствами САПР // Молодежный научно-технический вестник. 2016. №5. С. 26.

Драч Владимир Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Конструирование и производство электронной аппаратуры" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: drach@bmstu-kaluga.ru

Максимов Павел Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: failbt@yandex.ru

В.Е. Драч, А.И. Луганская

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК РУПОРНОЙ АНТЕННЫ СВЧ-ДИАПАЗОНА НА РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТАХ

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

Современный мир сложно представить без быстрого обмена информацией. Передача информации может быть как проводной, так и беспроводной. Беспроводная передача данных осуществляется через радиоволны, инфракрасное, оптическое и лазерное излучения. Обмен информацией через электромагнитные волны было одним из первых методов беспроводной передачи данных. Данный способ также является наиболее изученным и распространенным. Передача данных через электромагнитное поле осуществляется через антенны.

Наиболее распространенными являются рупорные антенны. Они используются во многих областях не только потому, что они удобны, но и потому, что они обладают рядом функций, которые делают их идеальными во многих областях применения.

Моделирование характеристик рупорной антенны¹ на частоте 15 ГГц позволило сделать вывод о целесообразности продолжения исследований в заданном направлении. Следующим шагом стало изучение характеристик антенны при условии, что перед раскрытием антенны будет некоторая преграда, идеализированная параллелограммом². Однако, до сих пор оставался открытым вопрос об изменении характеристик антенны в диапазоне частот 10-15 ГГц с преградой перед раскрытием и без нее. Решение именно этой задачи является целью настоящей работы.

Моделирование проводится в САПР Ansoft HFSS^{3,4}.

На рисунках 1-3 приведены характеристики рупорной антенны на частоте 10 ГГц и 15 ГГц.

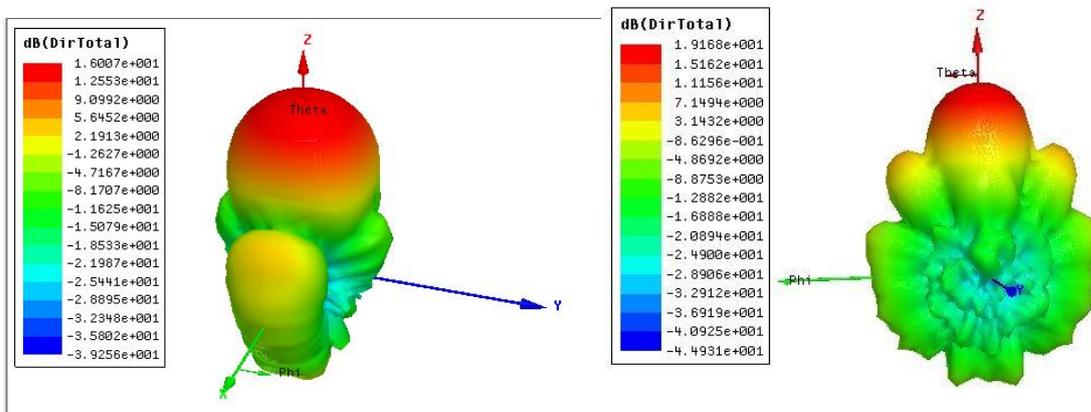


Рис. 1. Трехмерная диаграмма направленности на частоте 10 ГГц (слева) и 15 ГГц (справа)

Как видно из рисунка 1, при увеличении частоты, увеличивается коэффициент усиления. Для частоты 10 ГГц он равен 16 дБ, а для частоты 15 ГГц – 19,1 дБ.

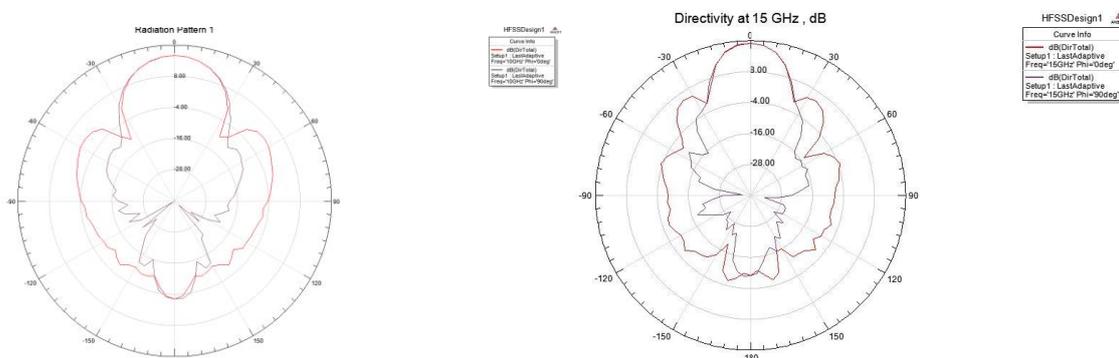


Рис. 2. Диаграмма направленности в плоскостях $\varphi=0^\circ$ и $\varphi=90^\circ$ на частоте 10 ГГц (слева) и 15 ГГц (справа)

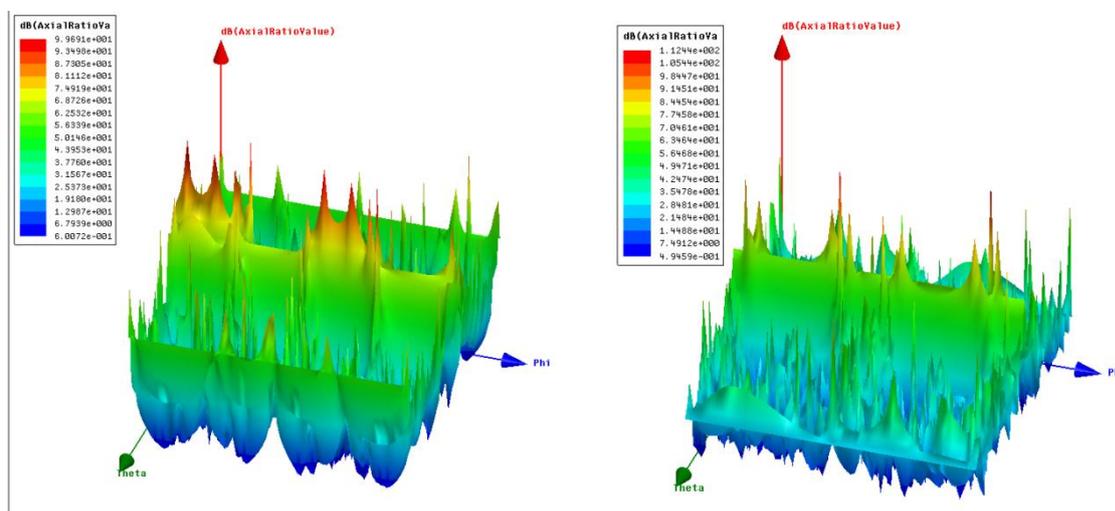


Рис. 3. Трехмерный график, иллюстрирующий зависимость величины AR (дБ) от направления излучения на частоте 10 ГГц (слева) и 15 ГГц (справа)

Согласно рисунку 3, коэффициент эллиптичности увеличивается с ростом частоты.

Следующим этапом моделирования является сравнение характеристик рупорной антенны на частоте 10 и 15 ГГц с преградой из стеклопластика перед раскрытием рупора антенны. На рисунках 4-6 представлены полученные характеристики антенны для толщины преграды в 250 мм. Данные, полученные для преграды толщиной 500 мм, сведены в таблицу 1.

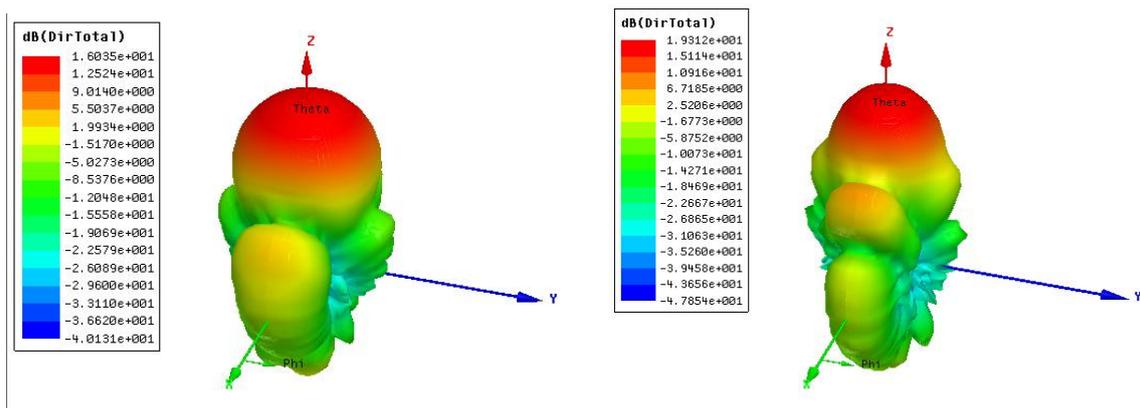


Рис. 4. Трехмерная диаграмма направленности с преградой из меди толщиной 250 мм на частоте 10 ГГц (слева) и 15 ГГц (справа)

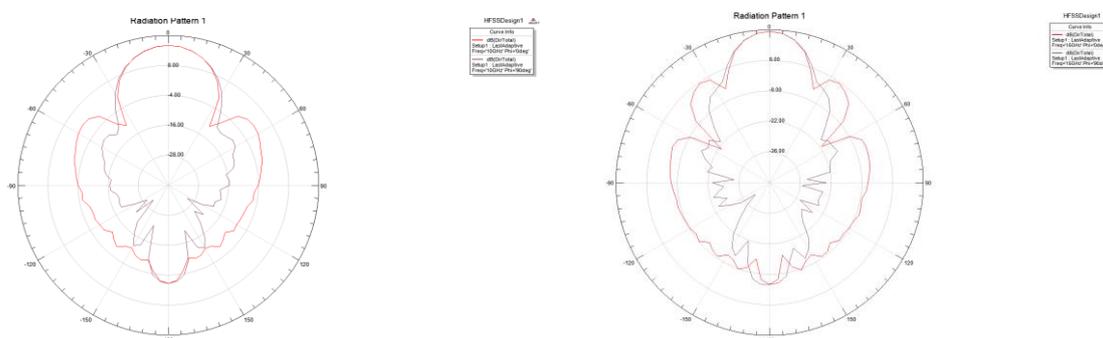


Рис. 5. Диаграмма направленности в плоскостях $\varphi=0^\circ$ и $\varphi=90^\circ$ с преградой из стеклопластика толщиной 250 мм на частоте 10 ГГц (слева) и 15 ГГц (справа)

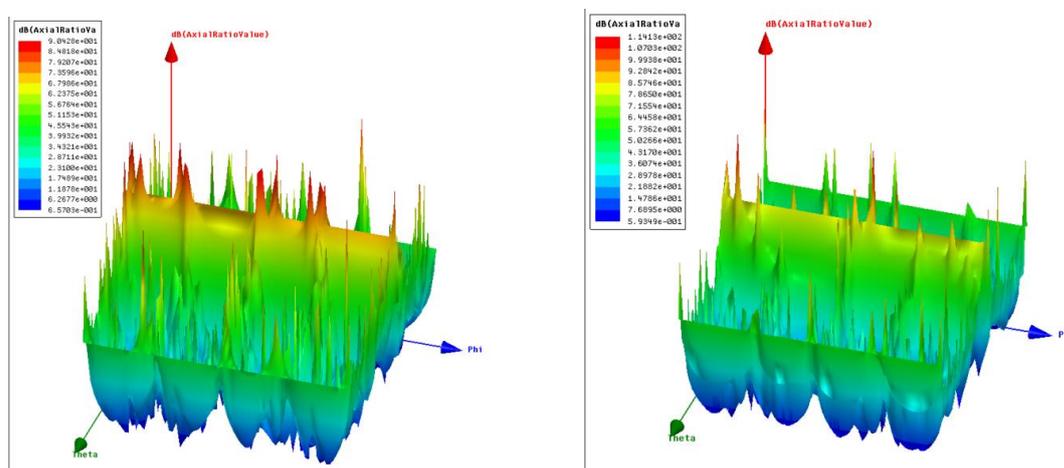


Рис. 6. Трехмерный график, иллюстрирующий зависимость величины AR (дБ) от направления излучения на частоте 10 ГГц (слева) и 15 ГГц (справа) с преградой из стеклопластика толщиной 250 мм

Для краткости в таблице 1 приведены значение коэффициентов усиления и эллиптичности для преграды из стеклопластика толщиной 500 мм для частот 10 и 15 ГГц.

Таблица 1

Частота, ГГц	Коэффициент усиления, дБ	Коэффициент эллиптичности
10	15,89	0,091
15	18,24	0,097

Выводы

- Исследованы и смоделированы характеристики рупорной антенны на частоте 10 ГГц и 15 ГГц без преграды и с преградой из стеклопластика толщиной 250 и 500 мм;
- С ростом частоты увеличиваются коэффициенты усиления и эллиптичности как для антенны без преграды, так и с преградой перед раскрывом;
- Если сравнивать характеристики антенны на одной частоте, то с увеличением толщины преграды уменьшается коэффициент усиления, а коэффициент эллиптичности увеличивается.

Список литературы

[1] А. И. Сиркели, В. Е. Драч Расчет характеристик рупорной антенны СВЧ-диапазона. *Научно-технические технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе Т. 1, 2017*, Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, с. 123-126

[2] А. И. Луганская, В. Е. Драч Исследование характеристик рупорной антенны СВЧ-диапазона при изменении положения преграды. *Научно-технические технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе Т. 2, 2017*, Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, с. 167-170

[3] А. И. Сиркели, В. Е. Драч Обзор САПР моделирования СВЧ-устройств. // *Интерактивная наука. 2017. № 11. С. 139–141.*

[4] HFSS – High Frequency Structure Simulation. *Manuals*, Ansoft, 2004.

Драч Владимир Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Конструирование и производство электронной аппаратуры" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: drach@bmstu-kaluga.ru

Луганская Анна Ивановна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: luganskaya.a.i@yandex.ru

Д.Е. Бородин, Д.В. Андреев

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОТОДИОДА ФОТОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА ВЫСОТОМЕРА

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

Работа любого вида аппаратуры с использованием оптического излучения основана на регистрации этого излучения приемниками оптического излучения, являющимися обязательными элементами структурных схем оптико-электронных устройств. Фотоприемники, в которых на основе конструктивных или схемотехнических решений осуществляется ряд последовательных преобразований сигнала, получили название фотоприемных устройств (ФПУ) [1].

ФПУ высотомера принимает оптическое излучение, преобразует его в электрический сигнал, осуществляет усиление и, при необходимости, преобразование формы, а затем передает сигнал на следующее за ним пороговое устройство.

Объектом исследований является однофазная схема фотоприемного устройства высотомера. Основной проблемой фотоприемного устройства является селекция полезного сигнала. Данную проблему усугубляет наличие синфазных наводок в спектре входного сигнала, вызванных источником импульсного лазерного излучения. В рамках квалификационной работы было разработано схемное решение данной проблемы в виде ФПУ с дифференциальным усилением сигнала. Для более полного обоснования перехода на дифференциальное усиление необходимо произвести моделирование схем с такими входными параметрами, как интенсивность светового потока, падающего на активную площадку фотодиода, и длина волны излучения.

Цель данной работы – разработать модель фотодиода с возможностью настройки интенсивности падающего светового потока и его длины волны. На текущем этапе исследований создана грубая модель фотодиода, проводится ее тестирование и согласование параметров с реальным фотодиодом. Моделирование фотодиода проводится в симуляторе электронных схем Multisim [2].

За основу модели была взята обобщенная модель фотодиода [3], пригодная для моделирования характеристик р–n- и р–i–n-фотодиодов, фотодиодов с управляющим МДП-затвором (ФДУЗ) и имеющая эквивалентную схему, представленную на рисунке 1. Она имеет 4 вывода: анод А, катод С, затвор G и световой F – и состоит из следующих элементов: G_{ph} – источник фототока; D_{pn} – диод, описывающий р–n-переход; C_{pn} – ёмкость р–n-перехода; R_{pn} – суммарное сопротивление р- и n-областей; R_{leak} – паразитное поверхностное сопротивление утечки; R_{cont} – сопротивление контакта р+–р–; C_{mos} – ёмкость МОП-структуры.

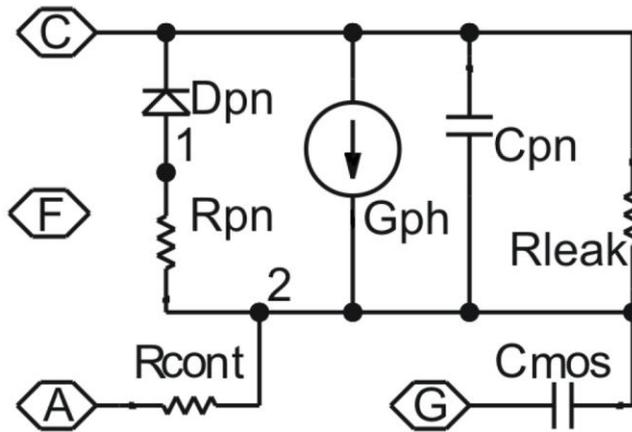


Рис. 1. Эквивалентная схема модели фотодиода

Выражение для фототока (G_{ph}) имеет вид:

$$I_{\Phi} = k\Phi, k = A_S \cdot \eta(\lambda) \cdot S_0 \cdot f(U_3) \quad (1)$$

где I_{Φ} – фототок, А; Φ – плотность мощности светового потока, Вт/см²; A_S – площадь фоточувствительной поверхности, см²; $\eta(\lambda)$ – внутренний квантовый выход фотоэффекта; S_0 – фоточувствительность, А/Вт (в случае источника с широким спектром используется интегральная фоточувствительность, вычисляемая на основе спектральной фоточувствительности); $f(U_3)$ – функция, учитывающая влияние напряжения затвора U_3 .

В нашем случае у фотодиода отсутствует управляющий МДП-затвор, откуда упрощением выражения (1) получаем конечное выражение для фототока:

$$I_{\Phi} = k\Phi, k = A_S \cdot \eta(\lambda) \cdot S_0 \quad (2)$$

Далее с помощью инструмента «Subcircuit» симулятора электронных схем Multisim была создана модель фотодиода ФПУ высотомера, подсхема и схема включения которой представлены на рисунках 2 и 3 соответственно:

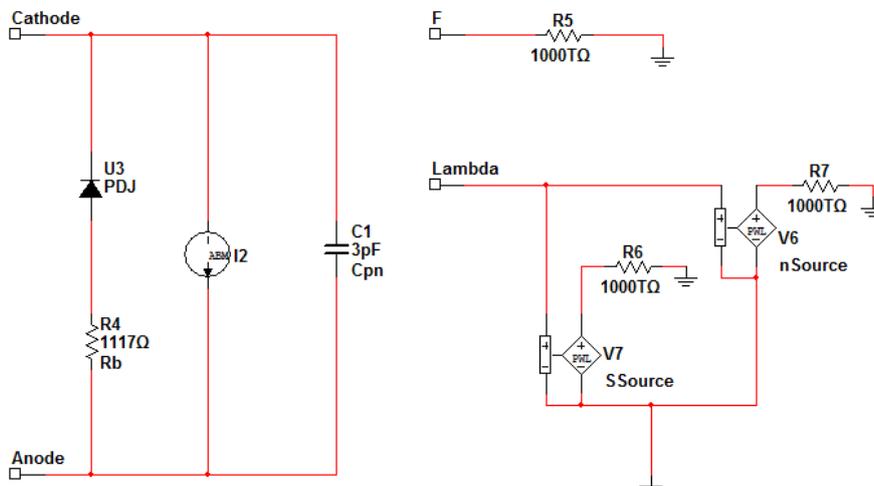


Рис. 2. Подсхема модели фотодиода ФПУ высотомера в Multisim

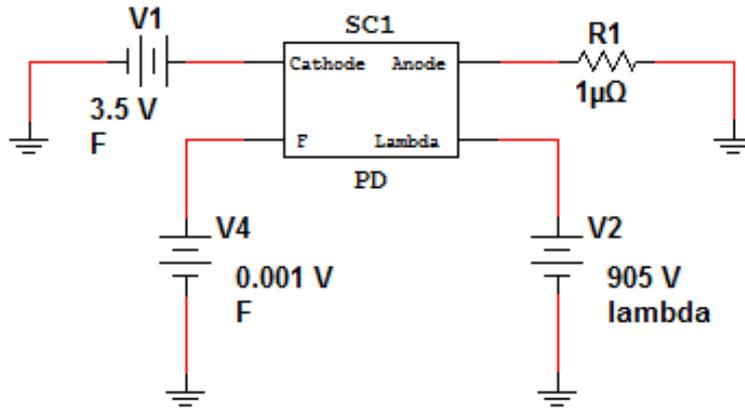


Рис. 3. Схема включения модели фотодиода в Multisim

Модель имеет 4 порта: анод, катод, порт для задания плотности мощности светового потока и порт для задания длины волны светового потока. Модель поддерживает диапазон длин волн от 400 до 1100 нм. Следующим шагом с модели были сняты следующие характеристики: статическая прямая и обратная ВАХ, световая характеристика фотодиода, зависимость фототока от длины волны светового излучения, семейство обратных ветвей ВАХ при $\Phi = const$ и при $\lambda = const$, примеры которых представлены на рисунках 4-7:

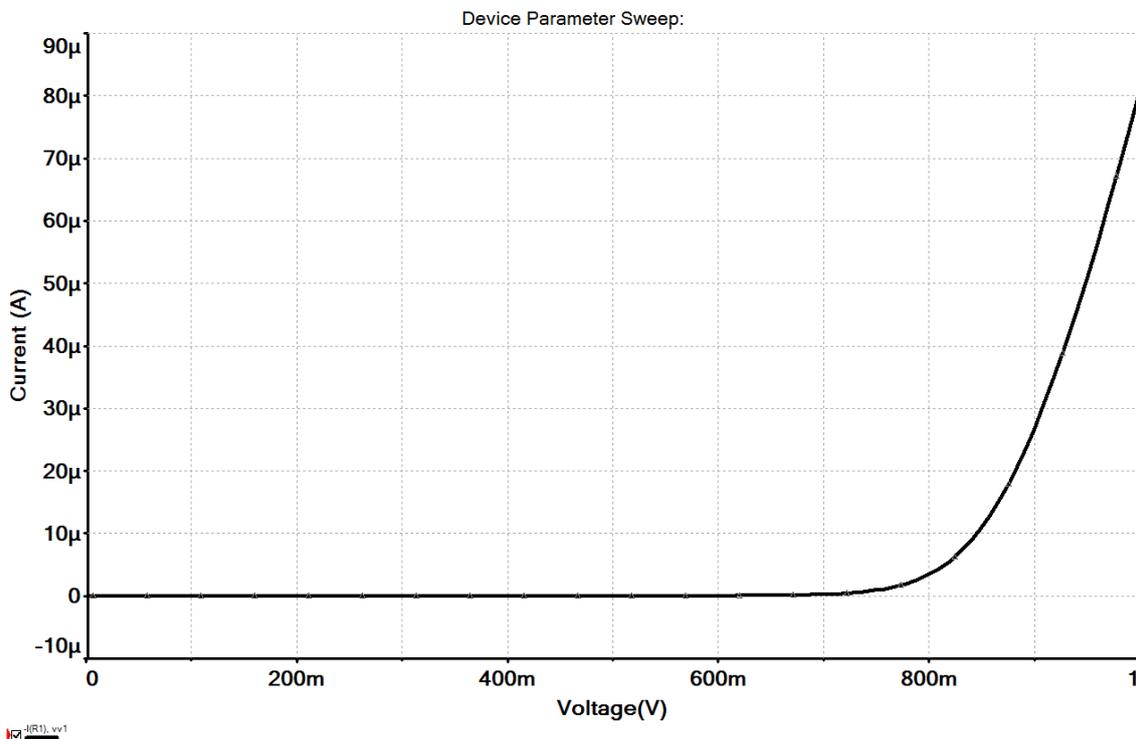


Рис. 4. Статическая прямая ВАХ модели фотодиода

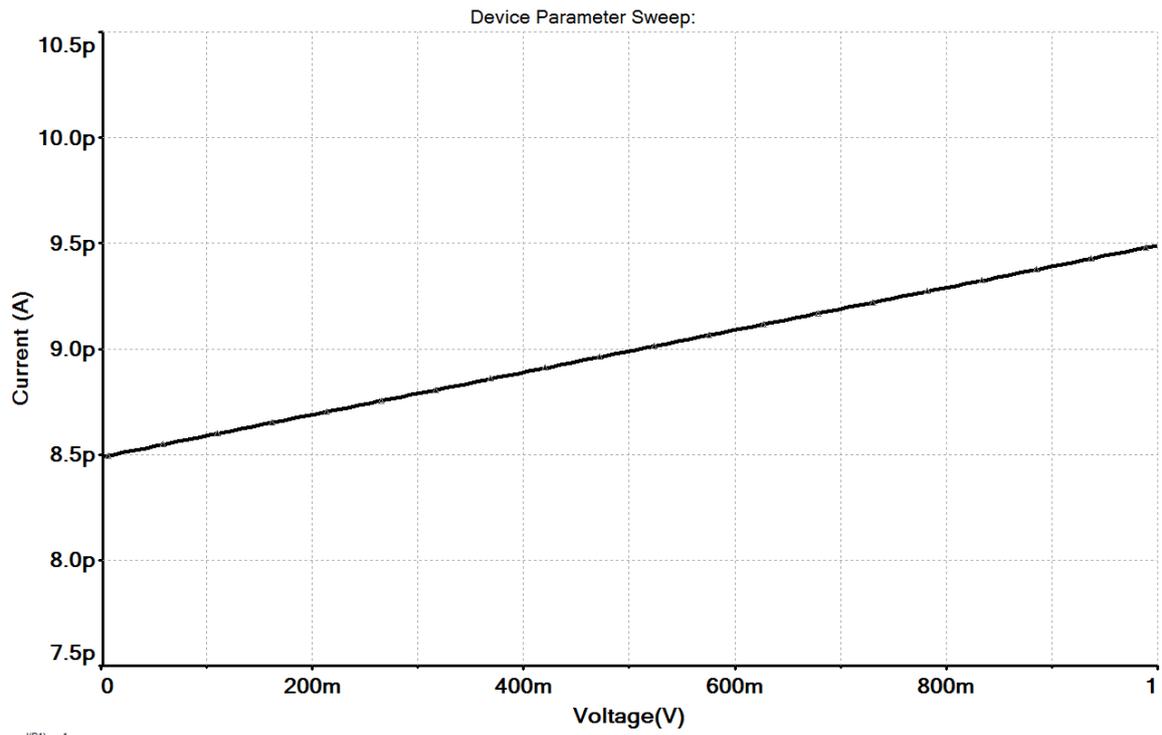


Рис. 5. Статическая обратная ВАХ модели фотодиода

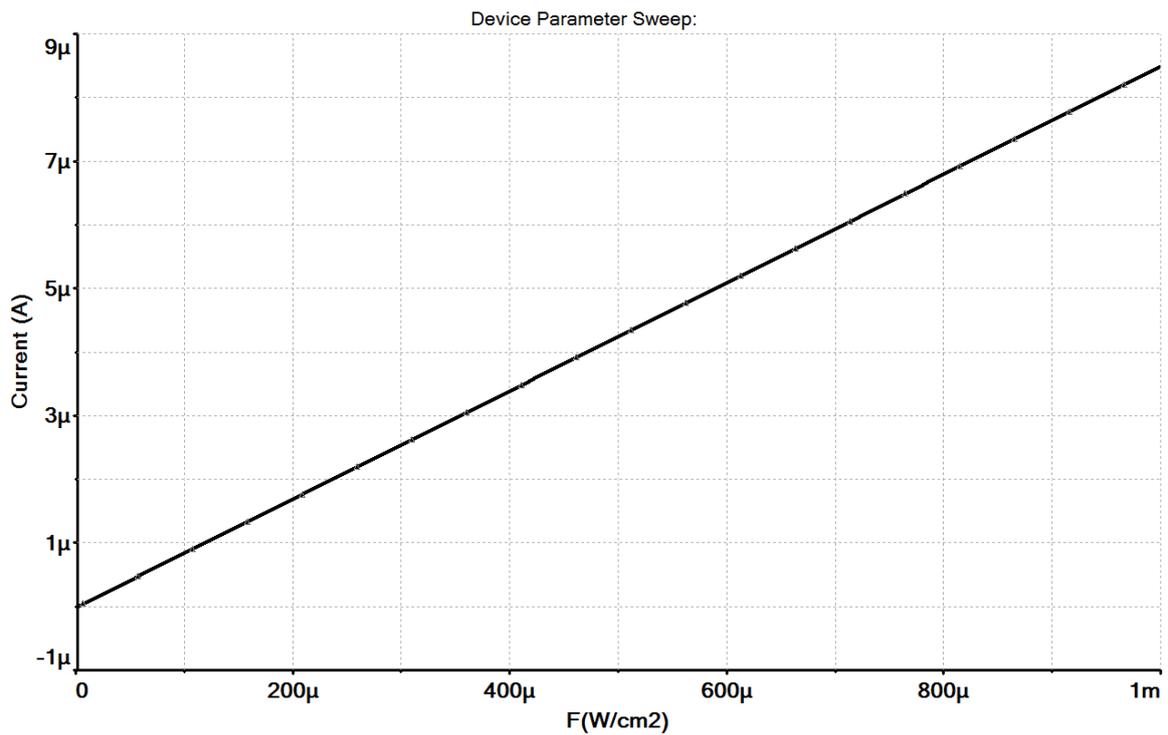


Рис. 6. Световая (энергетическая) характеристика модели фотодиода

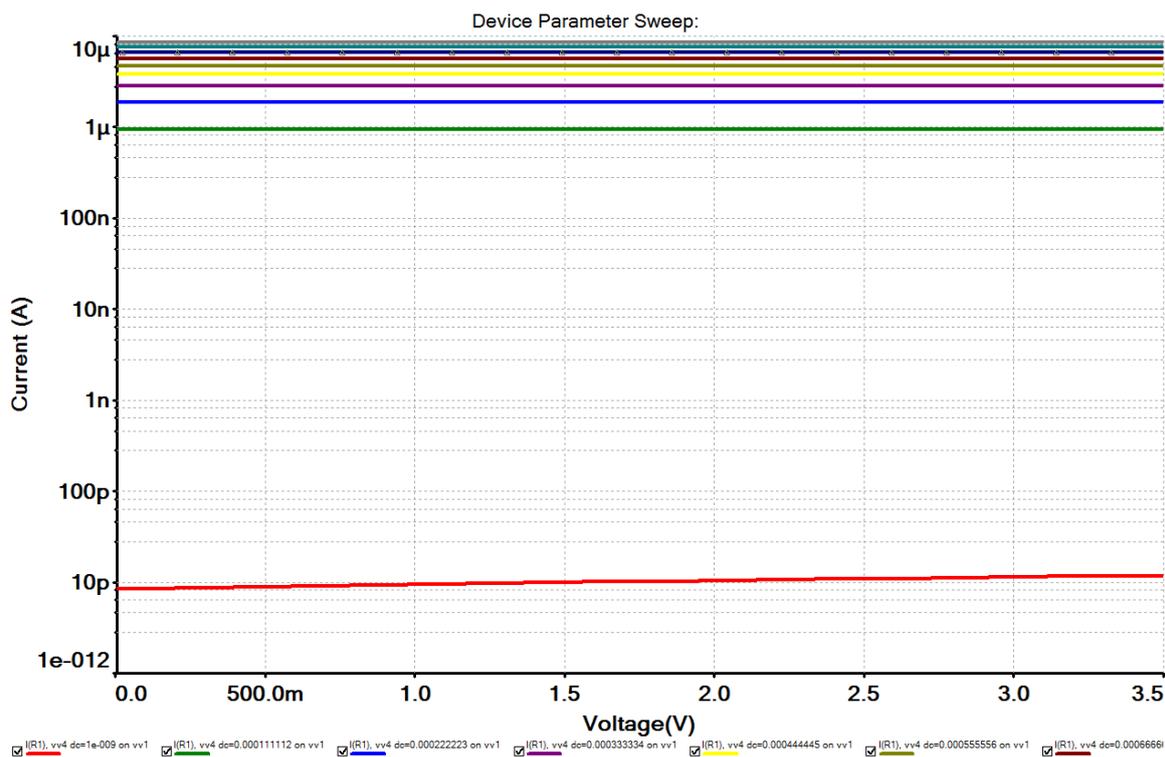


Рис. 7. Семейство обратных ветвей ВАХ модели фотодиода при $\lambda = 905\text{нм}$

Таким образом, снятые с модели характеристики позволяют сделать вывод, что модель работает правильно. В настоящее время планируется сравнить исходные схемы ФПУ высотомера с учетом данной модели и разных САПР и провести тепловой анализ схем.

Список литературы

- [1]. Аксененко М.Д. Микроэлектронные фотоприемные устройства/ М.Д. Аксененко, М.Л. Баранчиков, О.В. Смолин – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.;
- [2]. NI Multisim. <http://ni.com/multisim/>
- [3]. Самбурский Л.М. SPICE-модели оптоэлектронных элементов для расчёта фоточувствительных КМОП-ФД БИС // МЭС – 2005. Сб. научных трудов. – М.: ИППМ, 2005. – стр. 196–203

Бородин Дмитрий Евгеньевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: MisterDmitryBorodin@yandex.ru

Андреев Дмитрий Владимирович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

П.В. Кондрашов, В.В. Андреев

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИНЖЕКЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МДП-СТРУКТУР

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

Увеличение степени интеграции изделий микроэлектроники обуславливает необходимость повышения их надежности, что неразрывно связано с совершенствованием методов производственного контроля МДП-ИС. Как показывает практика, самыми перспективными методами исследования и контроля являются инжекционные методы. Связано это с тем, что они позволяют получить точную информацию о качестве подзатворного диэлектрика, а поскольку наибольший процент отказов МДП-ИС приходится как раз на подзатворный диэлектрик, то контроль технологического процесса получения диэлектрической пленки определяет количество годных микросхем и их качество. Преимущество инжекционных методов, прежде всего, в том, что они являются неразрушающими, а также позволяют измерить большое количество электрических параметров без перекмутации образца и могут быть легко автоматизированы [1].

Из множества инжекционных методов наибольшую популярность получили метод сильнополевой инжекции постоянным током и метод многоуровневой токовой нагрузки. Они позволяют измерять такие характеристики, как напряжение микропробоя, зависимости инжекционного и емкостного тока от времени и от приложенного напряжения, вольт-фарадные характеристики, процессы генерации и релаксации положительного заряда и др.

Авторами данной статьи была поставлена задача разработки многофункциональной установки для реализации вышеперечисленных инжекционных методов. Установка разрабатывалась для лаборатории микроэлектроники КФ МГТУ, но может быть с успехом использована и в кристалльном производстве.

Для проектирования требуется обозначить ряд требований, предъявляемых к измерительной установке. Прежде всего, она должна обеспечивать измерения методами постоянного тока и многоуровневой токовой нагрузки. Установка должна иметь широкий диапазон рабочих напряжений и токов. Следует предусмотреть два режима работы: автоматический, в котором управление диапазонами осуществляется с помощью ПЭВМ, а также ручной, где все переключения делаются оператором непосредственно в самой установке. На первый взгляд, ручной режим, при наличии автоматического, кажется избыточным, но в ряде случаев он удобен, например, для оперативного контроля. Также желательно иметь в установке индикацию пробоя МДП-структуры, что повысит удобство использования и расширит возможности применения.

Учитывая все вышеперечисленные требования, авторами была разработана установка, структурная схема которой приведена на рис. 1. Основными составными частями данной установки можно назвать персональную ЭВМ, периферийные модули фирмы National Instruments, устройство подключения МДП-структуры и основного блока, состоящего из блока измерения с вспомогательными модулями, конструктивно объединенных в одном корпусе. Остановимся на структуре установки подробнее.

Основой установки является блок измерения, состоящий из узла измерения и узла коммутации добавочных резисторов. Блок измерения представляет собой источник тока на высоковольтном операционном усилителе, в цепь обратной связи которого включается исследуемая МДП-структура. Один из выводов структуры заземлен через добавочный резистор, таким образом, образуя совместно с ОУ неинвертирующий усилитель. Поскольку ток через структуру зависит от приложенного к ней напряжения, то при изменении напряжения, подаваемого на вход усилителя, выходное напряжение будет изменяться в такт изменениям тока. А напряжение на структуре легко найти как разность выходного и входного напряжений.

Аппаратные средства установки позволяют изменять входное напряжение и ток через структуру на два порядка. Дальнейшее расширение диапазона осуществляется за счет смены добавочного резистора в цепи связи. Таким образом, номиналы сопротивлений позволяют значительно расширить диапазон подаваемых токов, до 10^{-10} А. Переключение сопротивлений осуществляется за счет узла коммутации, а подключение исследуемого образца – с помощью устройства подключения МДП-структуры.

Все манипуляции с блоком измерения осуществляются через входное устройство, которое, в зависимости от режима работы установки, переключает блок измерения либо (в случае автоматического управления) на внешние управляющие модули, либо (при ручном управлении) на внутренние узлы прибора. В автоматическом режиме управление осуществляется с помощью аппаратных средств фирмы National Instruments.

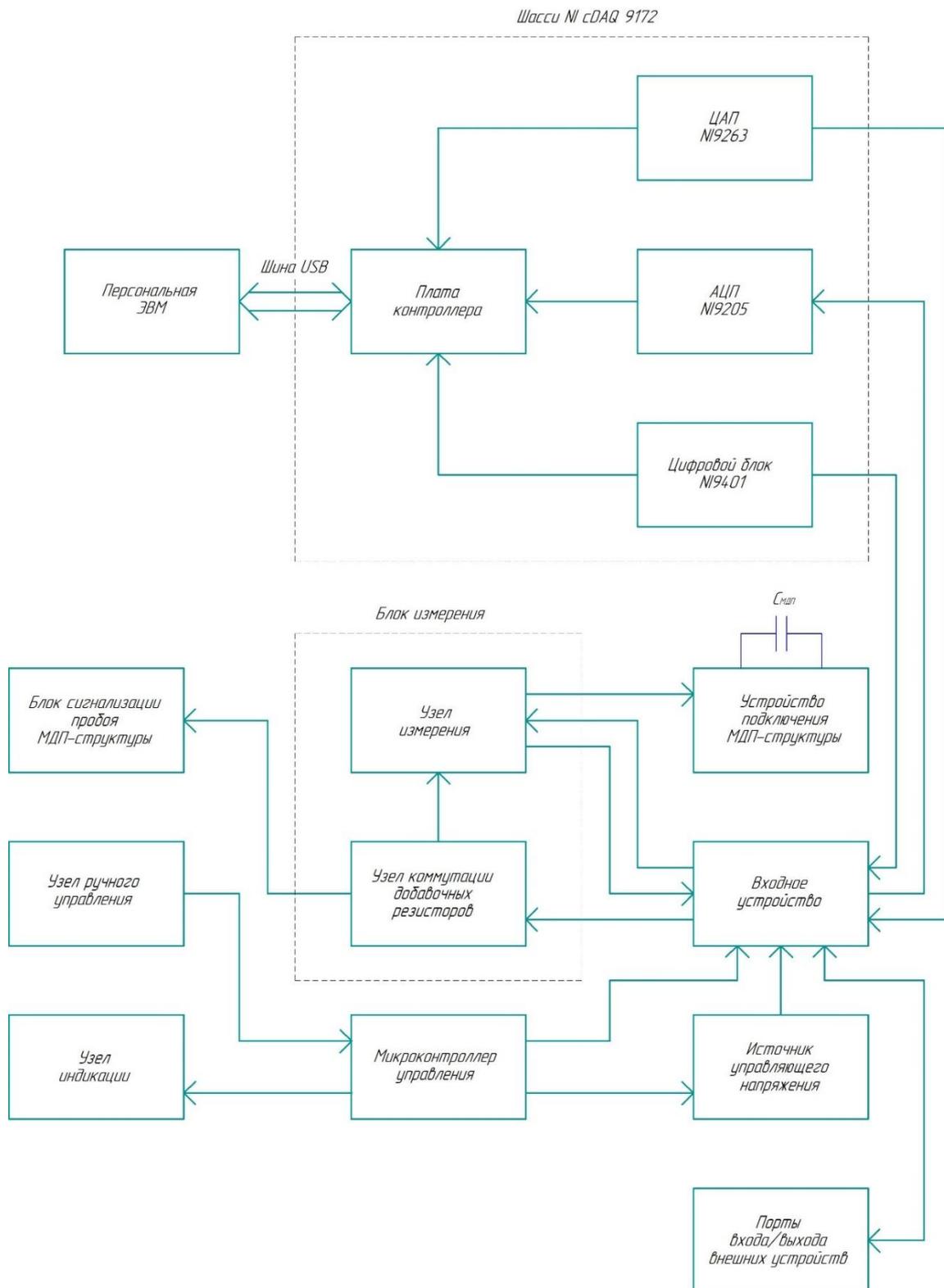


Рис. 1. Схема установки структурная

Управляющее напряжение на входе узла измерения формируется с помощью ЦАП NI-9263. Выходное напряжение отслеживается с помощью АЦП NI-9205. Управление диапазонами измерения осуществляется посредством двоичного кода, формируемого цифровым блоком NI-9401. Вышеперечисленные блоки соединены с помощью интегрированной платы контроллера на стандартном шасси NI cDAQ-9172, подключенной через кабель USB к персональной ЭВМ [2]

В ручном режиме блоки National Instruments электронно отключаются от блока измерения, чтобы формируемые внутренними узлами прибора сигналы не повредили внешнее оборудование. В этом случае входное напряжение формируется источником управляющего напряжения, а выходное напряжение выводится на соответствующий разъем на задней панели прибора, для подключения к нему контрольного вольтметра или двухкоординатного самописца. Входное напряжение также выводится на разъем на задней панели.

Регулировка входного напряжения, а также переключение диапазонов измерения осуществляется с помощью узла ручного управления, состоящего из кнопочных переключателей. При нажатии одной из кнопок формируется двоичный код, обрабатываемый микроконтроллером управления, который, в зависимости от пришедшего на его входы код, переключает напряжение или предел измерения. Микроконтроллер также формирует сигналы управления для узла индикации, который информирует оператора о состоянии источника управляющего напряжения и блока коммутации добавочных резисторов. Еще одной задачей микроконтроллера является переключение режима работы по нажатию соответствующей кнопки на передней панели. При нажатии кнопки контроллер выдает запрещающий или разрешающий сигнал на входное устройство, отключая или подключая периферийные модули к блоку измерения; т.о. осуществляя переключение с автоматического режима на ручной и наоборот. Индикация режима работы также осуществляется узлом индикации.

Последним нерассмотренным блоком является блок сигнализации пробоя МДП-структуры. Данный блок нужен для отбраковки образцов перед основными испытаниями, а также сигнализирует о порче образца в процессе испытаний, например, при превышении подаваемого тока при измерении методом многоуровневой токовой нагрузки. Блок сравнивает напряжения на входе и выходе усилителя узла измерения, различие между которыми, при пробое структуры, будет меньше определенной величины. В этом случае на передней панели устройства будет загораться соответствующая лампа, сигнализируя о пробое.

Установка, реализованная по данной структурной схеме, имеет следующие параметры и функционал:

- Диапазон токовых воздействий – 10^{-10} - 10^{-2} А
- Максимальное выходное напряжение - ± 50 В
- Точность измеренного напряжения – 10 мВ
- Режимы работы: ручной и автоматический
- Сигнализация пробитой структуры

Таким образом, была разработана структурная схема установки, позволяющей проводить измерения методом постоянного тока и методом многоуровневой токовой нагрузки. Установка обеспечивает точность измерений, приемлемую для лабораторных исследований. Дальнейшими шагами авторов будет разработка принципиальной электрической схемы основного блока и его практическая реализация.

Список литературы

[1] Андреев В.В., Барышев В.Г., Столяров А.А. Инжекционные методы исследования и контроля структур металл-диэлектрик-полупроводник: Монография // М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 256 с.

[2] NI cDAQ-9172: руководство пользователя и технические характеристики. Режим доступа: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371747f.pdf>

Кондрашов Павел Вячеславович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: p.kondrashov.radio@yandex.ru

Андреев Владимир Викторович – д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

О.В. Антипенко, В.В. Андреев

СОЗДАНИЕ SPICE-МОДЕЛИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ШИРОКОПОЛОСНОГО ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

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

Моделирование является важной и неотъемлемой частью любого процесса проектирования. Существует несколько уровней моделирования, таких как: создание полной подробной модели на основе электрической принципиальной схемы или создание макромодели с сосредоточенными параметрами.

Подробная модель позволяет получить максимально близкие к реальному прибору характеристики на этапе проектирования. С ее помощью можно отработать и внести изменения в элементы конструкции и технологии, а также сократить и упростить цикл натуральных испытаний. К недостаткам такого вида моделирования можно отнести высокую трудоемкость и необходимость наличия подробных сведений о конструкции и элементной базе проектируемого прибора.

Макромодель прибора не дает столь точных и подробных параметров, как подробная модель, несмотря на это, она имеет собственную область применения. После проработки конструкции на основании подробной модели на основе схемы электрической принципиальной есть возможность создать упрощенную макромодель прибора с сосредоточенными параметрами. Модель такого вида отражает основные характеристики прибора, при этом являясь более простой и универсальной. Так же макромодель можно описать на языке Spice, что дает возможность ее использования в любом САПР, понимающем данный язык.

Рассмотрим модель операционного усилителя 1420УД1, построенную в среде проектирования интегральных схем Cadence Virtuoso на основе принципиальной электрической схемы. Модель представлена на рисунке 1.

Virtuoso Platform предоставляет широкие возможности для проектирования и моделирования интегральных схем. Основным преимуществом данной среды является возможность привязки принципиальной электрической схемы к топологии интегральной схемы и к технологии, а также возможность проведения большого количества анализов и построения характеристик.

На рисунке 2 изображена схема включения ОУ 1420УД1 в качестве неинвертирующего усилителя.

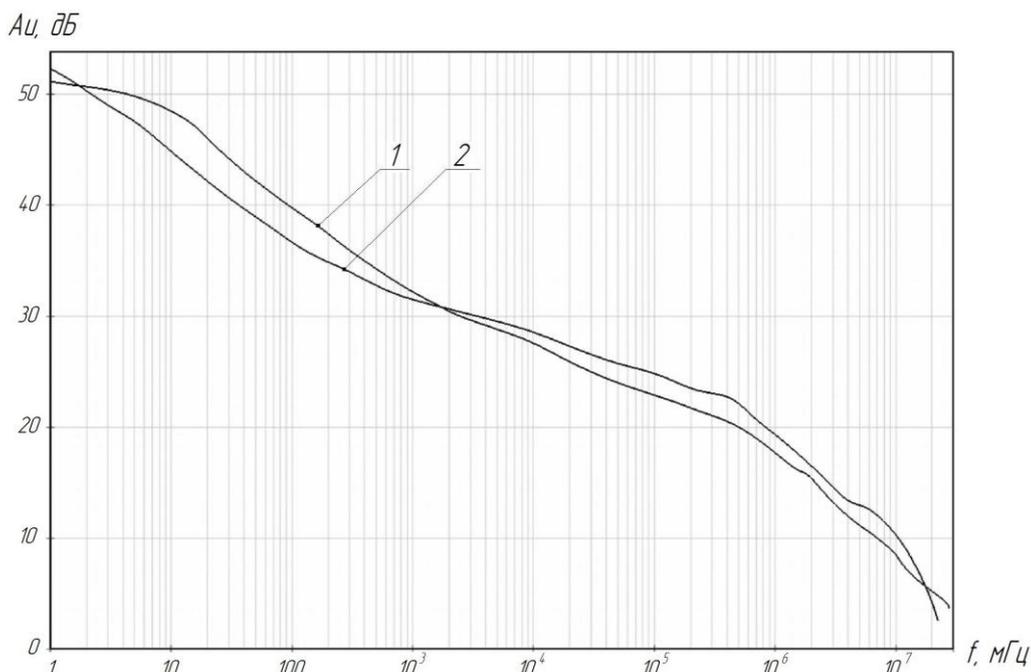


Рис. 3. АЧХ макромодели (1) и реального (2) ОУ 1420УД1

Как видно из рисунка 3 расхождение характеристики модели и реального прибора не значительно и составляет не более 10%. Расхождение фазочастотных характеристик (ФЧХ) так же не значительно.

Далее на основе полученных результатов создадим макромодель усилителя. Для расчета и подбора значений параметров и отработки состава макромодели создадим ее схему в симуляторе Qucs-s. На рисунке 4 представлена структурная схема макромодели идеального ОУ.

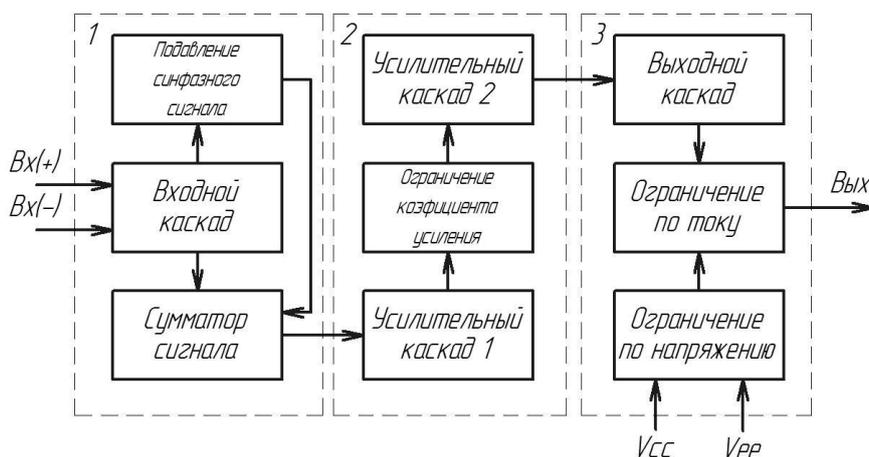


Рис. 4. Структурная схема макромодели идеального ОУ

Данная структурная схема включает в себя 3 основных блока: Входной каскад (1), отвечающий за входные параметры схемы, усилительный каскад (2), отвечающий за форму характеристик и выходной каскад (3), отражающий выходные параметры схемы. На рисунке 5 представлена макромодель ОУ 1420УД1, выполненная в симуляторе Qucs-s.

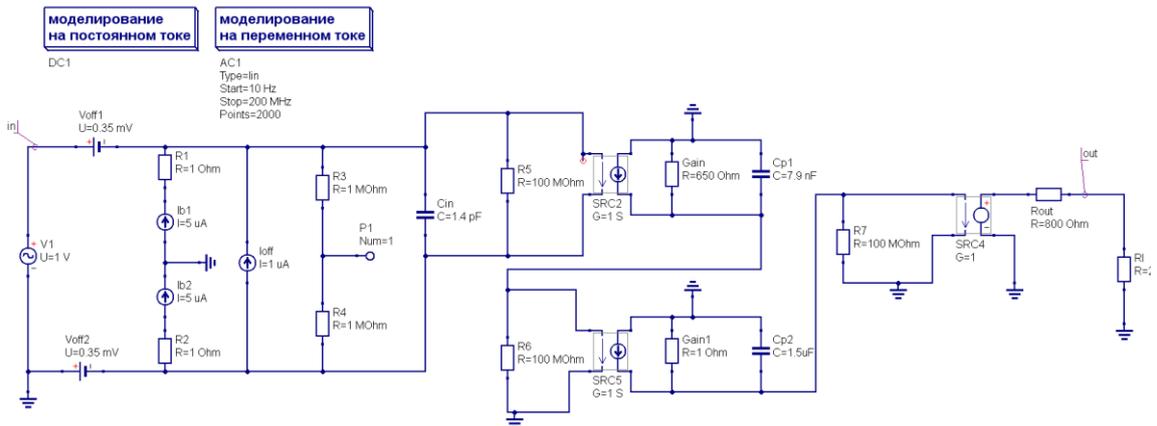


Рис. 5. Макромодель ОУ 1420 УД1, выполненная в симуляторе Qucs-s

В данной макромодели основные параметры схемы представлены в виде отдельных элементов, номиналы которых соответствуют значениям соответствующих параметров в реальной схеме. Номиналы элементов Gain, Gain1, C1 и C2, рассчитываются исходя из формы АЧХ и ФЧХ.

После подбора и расчета всех необходимых параметров макромодели произведем ее перевод на язык Spice. Для этого воспользуемся модулем Model Editor среды проектирования OrCad. Для получения Spice-модели необходимо заполнить поля, соответствующие значениям параметров в окне программы. На рисунке 6 представлены полученная АЧХ Spice-модели в сравнении с АЧХ реального прибора. Данная модель выполнена с учетом наличия емкости частотной коррекции.

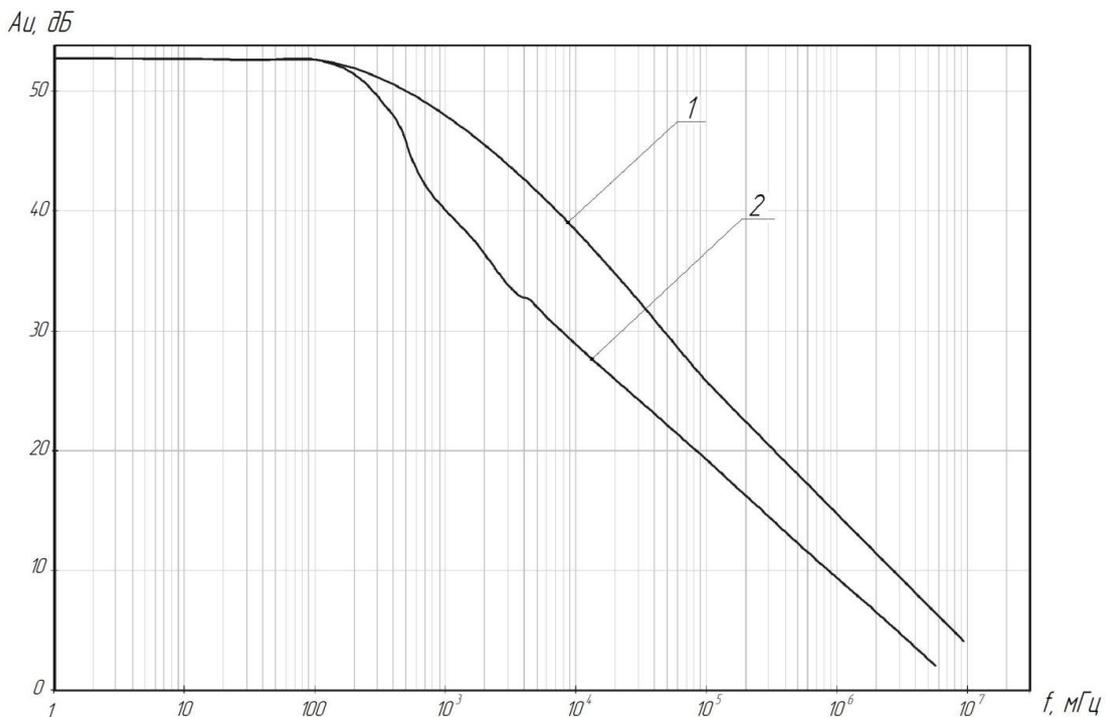


Рис. 7. АЧХ модели (1) в САПР OrCad и реального ОУ (2) 1420УД1

Полученная Spice-модель обладает достаточной степенью точности отражения параметров реального прибора. Она может быть включена в библиотеки различных САПР, работающих с языком Spice, и с ее использованием могут быть спроектированы приборы на основе операционного усилителя 1420ДУ1.

Список литературы

- [1] 1420УД1 ТУ исполнения-ГК
- [2] Alexander Mark. SPICE-Compatible Op Amp Macro-Models // Application Note AN-138, Analog Devices. - 1990. – February. –P. 155-170.
- [3] Brinson M. and Kuznetsov V. Spice4qucs help documentation. // User manual and reference material. <https://qucs-help.readthedocs.org/en/spice4qucs/>
- [4] Петраков О.М. Создание аналоговых Spice-моделей радиотехники. – М: Издательство Радиософт. – 2004.
- [5] Петраков О.М. Идеализированные частотно-зависимые однополюсные PSpice макромодели операционных усилителей. // Радиолоцман. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.rlocman.ru/review/article.html?di=183015> (дата обращения: 28.01.2018).
- [6] Фоменкова Е. О. Моделирование интегральных операционных усилителей и исследование их свойств. Математическая морфология. // Электронный математический и медико-биологический журнал. Том 12. Вып. 2. 2013.

Антипенко Олег Викторович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: joe.semper77@gmail.com

Андреев Владимир Викторович – д-р техн. наук, профессор
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ НЮАНСЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

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

Большинство современных электронных схем требуют для своей работы одного или нескольких источников постоянного напряжения. Помимо классических трансформаторных схем, узлы питания часто оснащены стабилизаторами напряжения. Стабилизатор напряжения – это устройство, поддерживающее (с определенной точностью) неизменным напряжение на нагрузке. Часто применяемыми являются линейные стабилизаторы, в которых регулируемый элемент включен параллельно или последовательно с нагрузкой и в зависимости от входного напряжения и потребляемого нагрузкой тока уменьшает или увеличивает свое сопротивление, сохраняя постоянным напряжение на выходе.

Типовые схемы включения стабилизаторов положительного и отрицательного напряжения приведены на рис. 1 и 2.

Определение параметров конденсаторов для линейного стабилизатора, является важным этапом проектирования, влияющим на работу РЭА. Ошибочный выбор конденсатора может привести к следующим негативным моментам в работе схемы:

1. Неустойчивость схемы;
2. Чрезмерно большое потребление тока;
3. Сокращение долговечности.

Как правило для большинства микросхем линейных стабилизаторов (кроме LDO) емкость конденсаторов $C1$ и $C2$ желательно выбирать не менее 10-15 мкФ для алюминиевых конденсаторов и 3,3 мкФ – для керамических и оксидно-танталовых. Роль входного может исполнять и конденсатор сглаживающего фильтра, если длина дорожки, соединяющей его со входом стабилизатора, не превышает 70 мм.

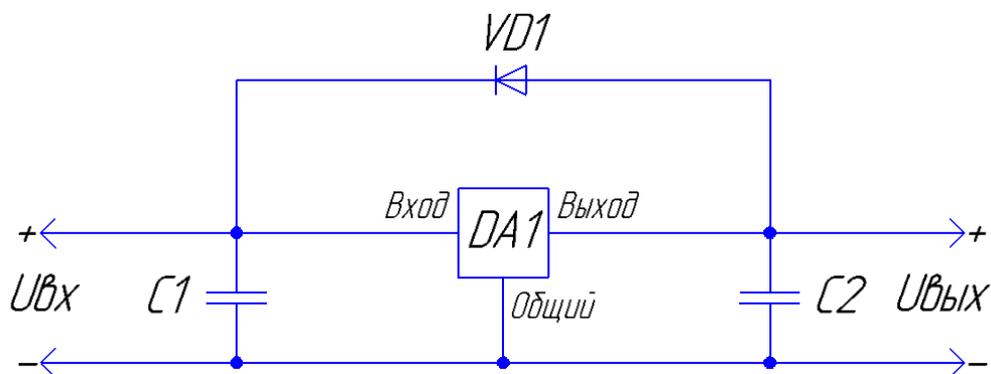


Рис. 1. Типовая схема включения стабилизаторов положительного напряжения

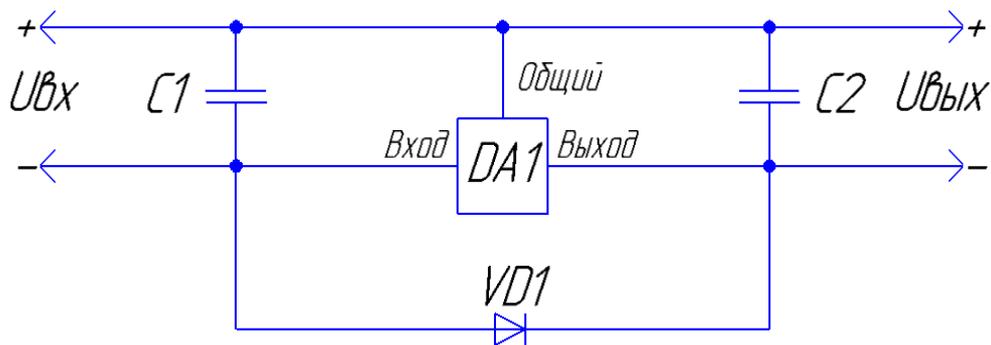


Рис. 2. Типовая схема включения стабилизаторов отрицательного напряжения

Если емкость конденсатора на выходе стабилизатора достаточно велика, а ток нагрузки мал, то между входом и выходом стабилизатора необходимо включать диод, как показано на рис. 1 и 2. Он защищает стабилизатор от переполюсовки, которая может возникнуть при обрыве или случайной отпайке проводника, соединяющего вход стабилизатора с выходом предшествующего ему диодного выпрямителя. Особенно целесообразно использование такой диодной защиты при построении систем распределенного электропитания, в которых основной источник формирует повышенное по сравнению с необходимым стабилизированное напряжение (например, 15 В), которое далее поступает на отдельные узлы устройства, каждое из которых снабжено своим стабилизатором (9-12 В). При аварийном отключении или выходе из строя основного источника на входах стабилизаторов отдельных узлов напряжение быстро падает до 0, в то время как на их выходах оно может оставаться довольно большим. Наличие диода гарантирует уравнивание (с точностью до 0,7 В) напряжений на входе и выходе, что предотвращает выход из строя стабилизатора.

Часто разработчики ошибочно считают, что микросхемы стабилизаторов чрезвычайно просты в применении, и не стоит тратить время на изучение их устройства и особенностей включения в реальных схемах. Такое легкомыслие может привести как к выходу из строя самого стабилизатора, так и к серьезным повреждениям платы и других дорогостоящих компонентов.

Характеристики выходных конденсаторов для схем стабилизаторов с малым падением напряжения (LDO)

Уникальная возможность LDO – его способность практически без ухудшения суммарного КПД блока питания стабилизировать напряжение, сглаживать выбросы и уменьшать шум на шине питания для высокочувствительных устройств, таких как радиоприемники, модули GPS, аудиоустройства, АЦП высокого разрешения и т.д.

Однако у LDO тоже есть недостатки, один из которых – склонность к самовозбуждению, причем не только при слишком большом ESR выходного конденсатора (или его слишком маленькой емкости), но и при слишком низком ESR.

LDO стабилизаторы могут работать с керамическими конденсаторами малых габаритных размеров, которые обладают низкими показателями ESR (эквивалентное последовательное сопротивление) и ESL (эквивалентная последовательная индуктивность). ESR влияет на показатели устойчивости петли обратной связи стабилизатора. Лучше всего применять конденсаторы, емкость, которых от 1 мкФ и ESR до 1 Ом. Следует отметить, что номинал и тип конденсатора в значительной мере определяют вид и длительность переходного процесса при скачкообразном изменении тока нагрузки, а также играет важную роль на высоких частотах, где ОС может работать не корректно. Если повысить значение емкости до 10 мкФ, снижается значение переходного процесса.

Таблица 1

Сравнение важнейших характеристик конденсаторов различных технологических видов

Технология	ESR	Стабильность по напряжению	Температурная стабильность
Алюминиевые электролитические	Наибольшее	Худшая	Худшая
Танталовые с твердым электролитом	Среднее	Наилучшая	Хорошая
Алюминиевые с твердым электролитом	Низкое	Наилучшая	Хорошая
Многослойные керамические	Самое низкое	Плохая	Хорошая

Входной блокировочный конденсатор

Размещение в схеме конденсатора емкостью 1 мкФ между входом питающего напряжения и заземляющим контактом понижает воздействие на топологическую схему печатной платы. Особенно это необходимо, если подводящий проводник обладает, при относительно большой длине, высоким сопротивлением выхода, питающего источника. Емкость конденсатора на входе увеличивается, если на выходе устанавливают конденсатор емкостью выше 1 мкФ.

Необходимые требования к входным и выходным конденсаторам

Учет рабочей температуры и показатель рабочего напряжения стабилизирующего устройства, важное действие при выборе конденсатора на выходе и входе. Керамические конденсаторы подойдут к стабилизаторам многих типов, они характеризуются нюансами поведения при изменении показателей температуры и напряжения.

Гарантией сохранности характеристик LDO является четкое представление об их качествах и нюансах конструкции. Особенно это видно в случаях с повышенным требованием к степени шума, дрейфу и целостности сигнала.

Минимальное значение емкости с указанием частотных свойств и эквивалентного последовательного сопротивления (ESR) конденсатора обычно приводится в паспортных данных на ИСН.

По результатам изученных материалов, можно сделать вывод, что, казалось бы на первый взгляд простое устройство, как линейный стабилизатор, имеет определенное количество нюансов включения, в связи с этим, при разработке схемы следует уделить достаточное внимание к выбору параметров вспомогательных элементов линейного стабилизатора.

Список литературы

[1] Битюков В.К. Источники вторичного электропитания: учебник / В.К. Битюков, Д.С. Симачков. – Электрон. текстовые данные. – М.: Инфра-Инженерия, 2017. – 326 с. <http://www.iprbookshop.ru/68991.html> (дата обращения 17.02.2018).

[2] Гаврилов, С.А. Искусство схемотехники. Просто о сложном – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2011. – 352 с. <https://e.lanbook.com/book/35940> (дата обращения 20.03.2018).

[3] Ланин, В. Л. Оптимизация конструктивно-технологического исполнения интегральных стабилизаторов напряжения // Силовая Электроника. - 2010. - № 5. - С. 100-103. http://www.power-e.ru/2010_5_100.php (дата обращения 26.03.2018).

[4] Шрайбер, Г. 300 схем источников питания. Выпрямители. Импульсные источники питания. Линейные стабилизаторы и преобразователи [Электронный ресурс] : сб. – Электрон. дан. – Москва: ДМК Пресс, 2008. – 224 с. <https://e.lanbook.com/book/835> (дата обращения 26.03.2018).

Лоскутов Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: SergeL-75@yandex.ru

Толоконников Вадим Эдуардович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vadimtv1994@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 6.

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ	3
<i>Непогодина Я.В., Жукова Ю.М., Алакин В.М.</i> Анализ методов переработки, применяемых при утилизации отходов стеклопластика	4
<i>Короткова В.Е., Яковлева О.В.</i> Анализ сорбентов для очистки воздуха от загрязнителей различной природы	9
<i>Савченко А.Ю., Яковлева О.В.</i> Использование осадков сточных вод городских сооружений.....	13
<i>Дудрова Н.О., Бычков Н.А.</i> Исследование влияния лазерного излучения с длиной волны 0,46-0,52 мкм на образование модификаций карбоната кальция.....	16
<i>Крылова Л.А., Яковлева О.В.</i> Исследование изменения динамики состава сбросов сточных вод промпредприятий Калуги.....	22
<i>Карева Е.О., Морозенко М.И.</i> Исследование плазменной газификации для переработки ТКО	26
<i>Жукова Ю.М., Егорова А.Г.</i> Исследование физико-механических характеристик бентонитовых глин как сорбента.....	29
<i>Кара Н.Д., Жукова Ю.М.</i> Критерии оценки эффективности водопользования промышленного предприятия.....	32
<i>Кривочкин М.А., Яковлева О.В.</i> Методы и схемы очистки сточных вод аэропортов.....	35
<i>Никулина С.Н., Васюков А.Е., Чудакова Т.А., Шмакова О.А., Цымбалюк М.В.</i> Некоторые аспекты выявления засоленности снежного покрова г. Калуги экспресс-методом	39
<i>Горбачева М.С., Жукова Ю.М.</i> Оценка воздействия на атмосферный воздух в процессе стабилизации полигона МУП «Полигон ТКО» г. Калуги	42
<i>Лаврентьева Г.В., Иванова В.Е., Падалка О.А.</i> Оценка загрязненности атмосферного воздуха в г. Калуге	46
<i>Боганова А.А., Морозенко М.И.</i> Получение синтез-газа.....	49

<i>Рогожина М.А., Васюков А.Е.</i> Разработка методики исследования постоянства минерального состава родниковых вод	52
<i>Кузнецова О.В., Стрельникова С.Ю., Яковлева О.В., Хролынцев А.А.</i> Технологии производства и эксплуатационные характеристики фильтрующих элементов из нетканых волокнистых полимерных материалов	55
СЕКЦИЯ 7. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И КОМПЛЕКСАХ	59
<i>Пономарев А.И., Стрункин Д.В.</i> Анализ условий эксплуатации автомобильных эвакуаторов	60
<i>Сидоров В.Н., Паршукова А.А.</i> К вопросу о повышении комфортности и полезной нагрузки автомобиля Лада Калина	62
<i>Сидоров В.Н., Подлесных С.В.</i> К вопросу об улучшении эксплуатационных характеристик автомобиля Lada Vesta на основе применения гибридной силовой установки и модернизации трансмиссии	65
<i>Стрункин Д.В., Пономарев А.И.</i> Математическая модель для определения основных параметров гидроусилителя руля	69
<i>Селькин С.А., Пономарев А.И.</i> Модернизация автомобиля Volkswagen Golf 7 путем установки системы автоматического подруливания задних колес	73
<i>Семизоров А.В., Пономарев А.И.</i> Повышение активной безопасности автомобиля Hyundai ix35 за счет применения системы активного поддрессоривания	76
<i>Чекрыжов А.В., Кодинцев Н.П.</i> Повышение эксплуатационных свойств трактора МТЗ-3022 путем модернизации несущей и тормозной систем.....	80
<i>Матвеев А.В., Кодинцев Н.П.</i> Применение дополнительной тормозной пары с электромагнитами в дисковых тормозах	85
<i>Плахов С.А.</i> Совершенствование системы охлаждения двигателей автомобилей семейства "ГАЗ"	87
<i>Серов А.Д., Сидоров В.Н.</i> Съемный (запасной) стеклоочиститель транспортного средства	90

<i>Попадько С.В., Голубина С.А.</i> Увеличение грузоподъемности и улучшение управляемости автомобиля Газ «Валдай»	93
СЕКЦИЯ 8. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ	96
<i>Дубинина М.С., Крестя В.И.</i> Аналитическая аппроксимация температурной зависимости коэффициента ионизации в слаботожном разряде в смеси аргона с парами ртути	97
СЕКЦИЯ 9. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ, ГИДРОПНЕВМАТИКА	99
<i>Ильдияров Е.Н., Сизов А.Н.</i> Верификация модели блока регулирования скорости паровой турбины по результатам испытаний ЭМП прямого действия	100
<i>Мурзин Ф.М., Сизов А.Н.</i> Выделение в САР ПТ составных частей: электронной управляющей и исполнительной (гидравлической или механической) части. Описание конструкции и работы основных узлов исполнительной гидравлической части САР	105
<i>Ананьев Н.А., Шитохина О.Г.</i> Исследование обтекания конического ротора с помощью пакета flowvision	108
<i>Савин Р.В., Савин В.Ю.</i> Корректировка профиля статора с целью снижения шума в пластинчатых насосах	111
<i>Васильчук Н.Ю., Чубаров Ф.Л., Никитин А.В.</i> Математическая модель обратного клапана-захлопки с гидравлическим демпфером для паротурбинной установки	113
<i>Анкудинов А.А., Мисягина Ю.Ю., Зубов А.А.</i> Моделирование течения жидкости в проточной части лабиринтного насоса	117
<i>Зубов А.А., Анкудинов А.А., Мисягина Ю.Ю.</i> Моделирование течения жидкости в проточной части осевых насоса	119
<i>Коськов А.В.</i> Насосы для водоснабжения	121
<i>Панаиотти С.С., Кувишинов А.С.</i> Нефтяной магистральный насос	123

<i>Чубаров Ф.Л., Никитин А.В., Регода А.В.</i> Система формирования контролируемой атмосферы пылевлагозащитного чехла космического телескопа.....	126
<i>Липин Е.С., Панаиотти С.С.</i> Экспериментальные исследования консольного насоса.....	129
СЕКЦИЯ 10. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	134
<i>Белов Ю.С., Козина А.В., Гришина А.И., Гришунов С.С.</i> К вопросу диагностирования болезней сердца на основе методов машинного обучения	135
СЕКЦИЯ 11. ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ	139
<i>Рыжиков Д.А., Косушкин В.Г.</i> Моделирование полимеризации в программе COMSOL Multiphysics® 5.3	140
<i>Зайончковский В.С., Прохоров И.А.</i> Особенности деформации структур с многослойными металлическими пленками	143
<i>Островский Д.П., Косушкин В.Г., Адарчин С.А., Бережанский И.Р.</i> Особенности толстопленочной технологии производства пассивных элементов гибридных интегральных схем	149
<i>Кузьмичева А.О., Косушкин В.Г.</i> Получение наночастиц переходных металлов в условиях метода испарения-конденсации	151
<i>Бережанский И.Р., Адарчин С.А.</i> Разработка конструкции мощных толстопленочных резисторов	154
<i>Бережанский И.Р., Адарчин С.А.</i> Разработка методики измерения ТКС толстопленочных резисторов.....	157
<i>Скипер А.В., Егорова О.Ю., Аунг Чжо Чжо, Зайончковский В.С.</i> Реализация техпроцесса получения топологии кристалла преобразователя Холла.....	161
<i>Романов Д.А., Прохоров И.А., Волошин А.Э., Косушкин В.Г.</i> Характеризация структурных параметров кристаллов методами рентгеновской дифрактометрии и топографии	164
<i>Егорова О.Ю., Косушкин В.Г.</i> Электроосаждение как один из химических методов получения наночастиц переходных металлов и их сплавов	169

СЕКЦИЯ 12.	
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ В ЭЛЕКТРОНИКЕ И МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ	175
<i>Кузенков А.И., Лоскутов С.А.</i>	
Анализ теплового режима работы источника питания	176
<i>Лутовин Е.А., Андреев Д.В.</i>	
Влияние деградации резистивной пленки на дрейф напряжения смещения нуля в операционном усилителе.....	178
<i>Лоскутов С.А., Хачев Д.В.</i>	
Исследование зависимости емкости керамических SMD конденсаторов от приложенного напряжения в среде Matlab.....	181
<i>Драч В.Е., Максимов П.А.</i>	
Исследование зависимости параметров генератора шума от температуры	185
<i>Драч В.Е., Луганская А.И.</i>	
Исследование изменений характеристик рупорной антенны СВЧ-диапазона на различных частотах	188
<i>Бородин Д.Е., Андреев Д.В.</i>	
Параметрическая модель фотодиода фотоприемного устройства высотомера	192
<i>Кондрашов П.В., Андреев В.В.</i>	
Разработка многофункциональной установки для инъекционных исследований МДП-структур	197
<i>Антипенко О.В., Андреев В.В.</i>	
Создание Spice-модели быстродействующего широкополосного операционного усилителя.....	202
<i>Лоскутов С.А., Толоконников В.Э.</i>	
Схемотехнические нюансы включения линейных стабилизаторов напряжения	207
СОДЕРЖАНИЕ	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 17.04.2018.
Формат 60x90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Печ. л. 13,5. Усл. п. л. 12,56. Заказ № 30

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