



МАТЕРИАЛЫ XVI МЕЖДУНАРОДНОЙ ЗАОЧНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ –  
ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ**

Новосибирск, 2012 г.

УДК 62  
ББК 30  
Т38

**Т38 «Технические науки — от теории к практике»:** материалы XVI международной заочной научно-практической конференции. (12 декабря 2012 г.); [под ред. Я. А. Полонского]. Новосибирск: Изд. «СибАК», 2012. — 162 с.

ISBN 978-5-4379-0187-8

Сборник трудов XVI международной заочной научно-практической конференции «Технические науки — от теории к практике» отражает результаты научных исследований, проведенных представителями различных школ и направлений современных технических наук.

Данное издание будет полезно аспирантам, студентам, исследователям в области прикладной науки и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития технических наук.

Главный редактор:

- кандидат технических наук, Полонский Яков Аркадьевич, эксперт высшей квалификации Единой Системы Оценки Соответствия (г. Волгоград).

Рецензенты:

- кандидат технических наук, Ахмеднабиев Расул Магомедович, доцент Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка;  
- доктор технических наук, профессор, Ахметов Сайранбек Махсутович, ректор Казахстанского университета инновационных и телекоммуникационных систем;  
- кандидат технических наук, Елисеев Дмитрий Викторович, доцент Института развития дополнительного профессионального образования.

ISBN 978-5-4379-0187-8

ББК 30

© НП «СибАК», 2012 г.

## **Оглавление**

<b>Секция 1. Машиностроение и машиноведение</b>	<b>7</b>
ИНВЕРСИЯ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ Колчков Вячеслав Иванович	7
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УКЛАДКА ДОРОЖНЫХ ПЛИТ Поезжаева Елена Вячеславовна Тимганов Ленар Расилович Балабанов Денис Сергеевич Кардаш Кирил Александрович	14
<b>Секция 2. Энергетика и энергетические техника и технологии</b>	<b>22</b>
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПЫЛЕНИЯ ДОДЕКАНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДАВЛЕНИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ Аскарова Алия Сандыбаевна Болегенова Салтанат Алихановна Березовская Ирина Эдуардовна Оспанова Шынар Сабитовна	22
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ Караева Юлия Викторовна Трахунова Ирина Александровна	30
<b>Секция 3. Строительство и архитектура</b>	<b>36</b>
ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕЗАВТОКЛАВНЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ПОРОД Володченко Александр Анатольевич	36
ПРОБЛЕМЫ СОВМЕСТИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ ПРИ СОЗДАНИИ КЕРАМОКОМПОЗИТОВ Лымарь Елена Анатольевна	42

ПОИСК НОВОГО ПРОФИЛЯ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ Бондарь Виктор Александрович Бондарь Людмила Викторовна Сушко Владимир Алексеевич	48
<b>Секция 4. Химическая техника и технология</b>	<b>58</b>
АГЛОМЕРАЦИЯ ФОСФОГИПСА В ПРИСУТСТВИИ ОТХОДОВ ДОБЫЧИ ЛЕНГЕРСКИХ УГЛЕЙ И ШУБАРКОЛЬСКОГО УГЛЯ Ерубай Арман Аппазулы Шевко Виктор Михайлович	58
ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЙ ПОЛИМЕРОВ Каптелева Альбина Олеговна Пилипенко Алексей Валерьевич Зиганшина Майя Рашидовна	66
<b>Секция 5. Технология продовольственных продуктов</b>	<b>71</b>
КЕТЧУПЫ НА ОСНОВЕ ТЫКВЫ Коростылева Людмила Алексеевна Текутьева Людмила Александровна Мухортов Сергей Алексеевич Алексеев Николай Николаевич	71
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ФИТОДЖЕМОВ Парфенова Тамара Васильевна Текутьева Людмила Александровна Сон Оксана Михайловна Мухортов Сергей Алексеевич	77
<b>Секция 6. Приборостроение, метрология, радиотехника</b>	<b>84</b>
ОСОБЕННОСТИ ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕТОВОДА СЛОЖНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ Андросик Андрей Борисович Мировицкая Светлана Дмитриевна	84

<p>ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ МЕТОДА ЛИНЕАРИЗАЦИИ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ Панюков Алексей Геннадьевич</p>	100
<p>ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ МЕТОДА ЛИНЕАРИЗАЦИИ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ Панюков Алексей Геннадьевич</p>	107
<p>ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ МЕТОДА ЛИНЕАРИЗАЦИИ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ Панюков Алексей Геннадьевич</p>	114
<p><b>Секция 7. Электротехника</b></p>	<b>119</b>
<p>ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИВОДОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ШТОКА Геча Владимир Яковлевич Мильшин Алексей Юрьевич</p>	119
<p>ИССЛЕДОВАНИЕ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В АВАРИЙНОМ ДВУХФАЗНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ Однокопылов Георгий Иванович Брагин Александр Дмитриевич</p>	125
<p><b>Секция 8. Безопасность жизнедеятельности человека, промышленная безопасность, охрана труда и экология</b></p>	<b>130</b>
<p>ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СОТОВОГО ПОЛИКАРБОНАТА Завьялов Артем Юрьевич Старжинский Валентин Николаевич</p>	130
<p>ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКОАНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ НЕФТЕДОБЫЧИ Картушина Юлия Николаевна Полозова Ирина Анатольевна Желтобрюхов Владимир Федорович</p>	138

<b>Секция 9. Нанотехнологии и наноматериалы</b>	<b>142</b>
ИММОБИЛИЗАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИ-N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ, НА ОКСИД АЛЮМИНИЯ	142
Есмурзаева Нурлыкыз Нагашыбаевна Тумабаев Нурмухамед Жашанович Благих Евгений Владимирович Селенова Багдат Саматовна Кудайбергенов Саркыт Елекенович	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ	152
Прокофьева Елена Васильевна Прокофьева Ольга Юрьевна Шаркевич Нина Вячеславовна	
УСИЛЕНИЕ СИГНАЛА ПЬЕЗОКВАРЦЕВОГО ИММУНОСЕНСОРА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СТРЕПТОМИЦИНА	157
Фарафонова Ольга Вячеславовна Васильев Сергей Викторович Ермолаева Татьяна Николаевна	

## СЕКЦИЯ 1.

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

#### ИНВЕРСИЯ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ

*Колчков Вячеслав Иванович*

*канд. техн. наук, профессор Московского государственного  
машиностроительного университета (МАМИ), г. Москва*

*E-mail: [micr@bk.ru](mailto:micr@bk.ru)*

#### INVERSION TOLERANCES OF GEOMETRICAL PARAMETERS PARTS FOR MASHINES IN THE PRODUCTION

*Vyacheslav Kolchkov*

*Candidate of Technical Sciences, Professor of MSMU, Moscow*

#### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы расчёта и назначения требований к точности функциональных геометрических параметров деталей машин и других изделий с учётом инверсии на стадиях жизненного цикла изделия, из-за воздействия взаимосвязанных реальных факторов на каждом из них.

#### ABSTRACT

The article deals with the calculation and use of functional requirements for the tolerances of the geometric parameters of the machine parts and other products based on the inversion of tolerances throughout the life cycle of manufacture of the product, due to the impact of the real factors that are associated with each of them.

**Ключевые слова:** точность параметров; размерные параметры; детали машин; допуск; инверсия; инверсия точности; погрешность размера; метрология; взаимозаменяемость; функциональная взаимозаменяемость.

**Keywords:** accuracy parameters; dimensional parameters; machine parts; tolerance; inversion; inversion tolerances; error size; metrology; interchangeability; functional interchangeability.

Методы расчета точности размеров деталей и сборочных единиц (узлов) машин в работах Н.А. Калашникова, Л.А. Архангельского, Ю.Н. Ляндона и А.И. Якушева базируются на анализе погрешностей и расчете допусков, исходя из обеспечения функциональной взаимозаменяемости. Детали, узлы и механизмы машины в этом случае рассматриваются в условиях действия сил, скоростей, ускорений, как в процессе эксплуатации механизма, так и в процессе обработки деталей, с учётом их функционального назначения и предъявляемых к ним эксплуатационных требований.

Результаты работ распространялись только на ограниченный круг механизмов и кинематических цепей, но, тем не менее, создают предпосылки для распространения такого подхода на более сложные изделия. Дальнейшая разработка методологических основ функциональной взаимозаменяемости должна базироваться на комплексном рассмотрении взаимосвязанных вопросов технологии, прикладной метрологии и эффективного функционирования механизмов и машин. Точность функциональных параметров, формируется на всех стадиях жизненного цикла и на каждом из них есть свои особенности, связанные с инверсией. Развитие принципа инверсии применительно к вопросам расчёта и назначения точности позволяет существенно расширить представления о закономерностях процессов изменения (обращения) точностных параметров деталей при обработке, измерении и контроле, а на последующей стадии, функционировании в процессе эксплуатации. Процесс формообразования детали должен рассматриваться как динамический, а геометрическая форма детали зависящей от частоты и амплитуды внешнего воздействия на деталь сил в процессе ее обработки и сборки, а в дальнейшем температур, давлений и других факторов в процессе эксплуатации.

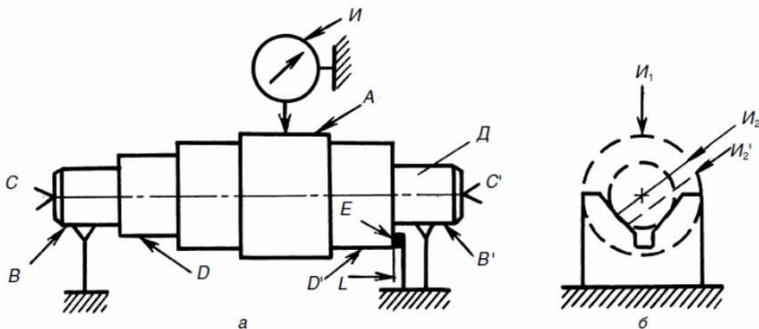
Изделие на этапах жизненного цикла от момента изготовления до момента эксплуатации проходит несколько состояний или инверсий (обращений). Вначале деталь представляет собой заготовку — объект обработки, затем объект контроля или измерения, а затем становится составной частью механизма, машины или другого изделия. Принцип

инверсии устанавливает связь между технологическим процессом, процессом измерения и выполнением функций при эксплуатации. На стадии обработки деталь и технологическая система, являющаяся источником инструментальной погрешности, представляют собой части замкнутой цепи. В процессе измерения деталь входит в замкнутую систему вместе со средством измерения, являющегося источником погрешности измерения. На стадии эксплуатации деталь, имеющая значения геометрических параметров пределах, установленных техническими требованиями, является частью функциональной системы изделия, т. е. выполняет функции в соответствие со своим назначением. Эксплуатационные свойства деталей, а значит машины в целом, наилучшим образом будут соответствовать установленным требованиям в том случае, когда источники погрешностей, возникающие на разных стадиях, будут рассматриваться во взаимной связи. Принцип инверсии позволяет сделать выводы, которые необходимо учитывать при назначении и обеспечении точности. Назначение требований к точности на стадии конструирования должно учитывать функциональное назначение детали. Схема технологического формообразования при обработке должна соответствовать схеме функционирования. Выбор средств измерения и контроля и организация процесса измерения должны проводиться с учётом принципа инверсии, т. е. учитывать две предыдущие схемы. Таким образом, положения принципа инверсии конструктор должен учитывать на стадии проектирования изделия, технолог — на стадии его изготовления, а метролог при его контроле и измерении. Из принципа инверсии следует, что для определения действующих погрешностей схема измерения должна соответствовать кинематической схеме формообразования, а также схеме функционирования детали, откуда вытекает ряд условий, обеспечивающих правильность измерения. Измерение будет считаться соответствующим, если: а) траектория движения при измерении будет подобна траектории движения при формообразовании; б) линия действия при измерении будет совпадать с линией действия при работе механизма (правило Аббе); в) базы измерения будут совпадать с рабочими базами (правило единства баз). Таким образом, метод и схему измерения можно считать правильно выбранными, если условия контроля соответствуют условиям эксплуатации и этапам формообразования детали. Траектория движения при измерении соответствует траектории движения при формообразовании и функционировании; линия измерения совпадает с направлением рабочего усилия при функционировании; метрологические, конструк-

торские и технологические базы совпадают с эксплуатационными; форма измерительного наконечника, силовая нагрузка на деталь и другие параметры соответствуют параметрам сопрягаемой с ней контролдетали; физические (в частности, геометрические) свойства образцовой детали, используемой при настройке средства измерения, подобны свойствам контролируемой детали.

На практике не всегда удаётся обеспечить соответствие метода формообразования детали оптимальной схеме, в этом случае вопрос о выборе схемы измерения следует решать, исходя из функционального назначения детали в зависимости от решения частной метрологической задачи. В любом случае стремление к наибольшему соответствию процесса измерения принципу инверсии позволяет обеспечить минимальные погрешности и повысить показатели качества при эксплуатации изделий.

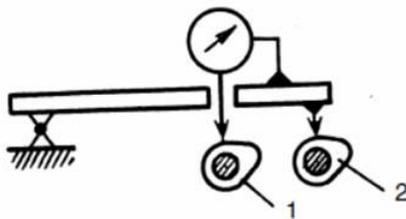
Применение положений принципа инверсии на стадии измерения или контроля можно проиллюстрировать на простых примерах. После изготовления ступенчатого вала редуктора  $D$  необходимо выбрать схему измерения радиального биения поверхности  $A$  с помощью показывающего измерительного прибора  $И$  (рис. 1.1,  $a$ ). В качестве метрологических баз следует выбрать поверхности  $B$  и  $B'$ , поскольку по ним происходит контакт вала с опорными подшипниками, а использование в качестве метрологических баз линии центров  $C - C'$  или поверхностей  $D - D'$  приводит к возникновению дополнительных погрешностей, вызванных отклонением от соосности этих элементов относительно базовых поверхностей  $B - B'$ .



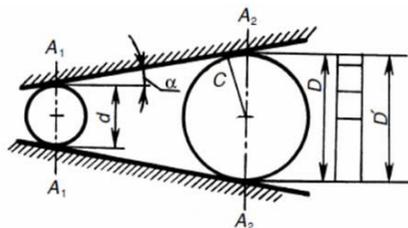
**Рисунок 1.1. Выбор измерительных баз при контроле базированием на ножках (а) и на призмах (б)**

В осевом направлении в качестве базирующего элемента следует выбрать поверхность  $E$  (но не  $C$  или  $C'$ ), т. к. относительно этой поверхности устанавливается осевой зазор, влияющий на функционирование редуктора, т. е. она определяет осевое положение вала и от этой поверхности целесообразно проставлять линейные размеры  $L$ . При вращательном движении вала в процессе измерения его траектория соответствует траектории движения при эксплуатации. При базировании на призмах (рис. 1.1, б) и выборе линии измерения по направлению  $I_1$  погрешности формы базовых поверхностей влияют на результаты контроля. Погрешности можно устранить, расположив линию измерения по направлению  $I_2$ . При смещении линии  $I_2$  в положение  $I_2'$  вследствие погрешностей начальной установки измерительного прибора возникают дополнительные погрешности измерения.

Процессы обработки, основанные на методе копирования, особенно чувствительны к соблюдению принципа инверсии. Например, при обработке эвольвентных, спиральных, винтовых поверхностей и других сложных поверхностей методом обката, а также контроле зубчатого колеса в однопрофильном зацеплении с точным образцовым колесом, контроле копира 1 методом сравнения его и профилем образцового копира 2 (рис. 1.2) и др.



**Рис. 1.2. Контроль профиля копира сравнением с образцом**



*Рис. 1.3. Клиновой калибр*

Сортировку шариков подшипников по диаметру можно проводить с использованием клинового калибра (рис. 1.3), выполненного в виде двух расходящихся под углом  $2\alpha$  линеек. Существует два метода его настройки, первый — по образцовым шарам, расположенным в сечениях  $A_1 — A_1$  и  $A_2 — A_2$  и имеющих заданные диаметры  $D$  и  $d$  и второй — по блокам концевых мер длины. При настройке по блокам мер необходимо вводить поправки на размеры блоков, так как геометрия и материал этих образцов отличны от геометрии и материала контролируемых деталей.

Принцип инверсии основывается на существовании преемственности между тремя последовательными процессами, в которых участвует деталь: обработки, контроля, эксплуатации. На первом этапе деталь включается в замкнутую систему СПИД (станок — приспособление — инструмент — деталь), в которой деталь образует с режущим инструментом кинематическую пару. Относительное движение детали и режущего инструмента в системе СПИД определяет характер возникающих погрешностей. На втором этапе деталь при измерении включается в замкнутую систему прибора — измерительное устройство — деталь. На этом этапе решающее значение имеет кинематическая пара деталь — измерительное устройство. Относительное движение измерительного устройства и детали предопределяет способ измерения параметров контролируемой детали. При выполнении деталию ее функционального назначения в машине или механизме она образует с контрдеталью кинематическую пару, входящую в замкнутую систему механизма — контрдеталь — деталь.

Принцип инверсии устанавливает связь между процессом обработки, процессом непрерывного движения измерительного наконечника по поверхности измеряемой детали и процессом относительного движения сопрягаемых деталей в механизме. Для исследования этой связи необходимо в каждом случае установить аналогии, которые вытекают из общности законов относительного

движения режущего инструмента и заготовки, сопрягаемых деталей и элементов измерительной пары.

Исследования автора в области инверсии точности на стадии функционирования и эксплуатации машин выходят за рамки данной статьи.

Следует сказать, что применение вышеизложенного подхода позволило предложить ряд новых конструкторских и технологических решений, направленных на повышение работоспособности машин за счёт оптимизации требований к точности функциональных параметров и их контролю.

### **Список литературы:**

1. Колчков В.И., Скворцов А.В. Точностные метрические модели на основе графов. — М: Изд-во АН СССР, Машиноведение. 1987. — № 6. — С. 10—14.
2. Колчков В.И. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник. — М.: Гуманитар. изд. центр Владос, 2010. — 398 с.
3. Колчков В.И., Рустамбеков М.К., Глазов Р.В. и Заваров В.А. Патент РФ RU 2 361 655 С1 «Способ диспергирования жидкостей». Опубликовано: 20.07.2009. Бюл. № 20.
4. Колчков В.И., Глазов Р.В., Рустамбеков М.К. и Заваров В.А. Патент РФ RU 2 410 151 С1 «Акустический разбрызгиватель» Опубликовано: 27.01.2011. Бюл. № 3.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УКЛАДКА ДОРОЖНЫХ ПЛИТ**

***Поезжаева Елена Вячеславовна**  
профессор кафедры МКМК, ПНИПУ г. Пермь*

***Тимганов Ленар Расилович**  
студент 2 курса АДФ специальность СДМ-11, ПНИПУ г. Пермь  
E-mail: [lenar4ik2010@mail.ru](mailto:lenar4ik2010@mail.ru)*

***Балабанов Денис Сергеевич**  
доцент кафедры ОТД, ЛФПНИПУ г. Лысьва*

***Кардаш Кирил Александрович**  
студент 3 курса АДФ специальность А-10, ПНИПУ г. Пермь*

## **AUTOMATED LAYING PAVEMENT SLABS**

***Elena Poezhaeva**  
professor of MCMC, PNIPU, Perm*

***Lenar Timganov**  
2nd year student of ADF specialty SDM-11, PNIPU, Perm*

***Denis Balabanov**  
assistant professor of OTD, LFPNIPU, Lysva*

***Cyril Kardash**  
3rd year student ADF specialty A-10, PNIPU, Perm*

### **АННОТАЦИЯ**

Статья посвящена разработанной модели робота, который ставит перед собой задачу, выложить плитку на большом участке дороги. Он должен самостоятельно приготовить грунт для укладки плит и сам же их выложит. Приведена математическая модель работы автоматизированного устройства, с целью формирования траектории движения робота. Объяснена значимость выбора траектории движения

робота с минимальным временем для приготовления грунта и укладки дорожных плит.

### ABSTRACT

Article focuses on the developed model of the robot, which has set itself the task to lay tiles on a large stretch of road. He must prepare their soil for laying tiles and himself to lay out. A mathematical model of the automated device, to form the trajectory of the robot. Explain the importance of choice of the path of the robot with minimal time to prepare the soil and road paving slabs.

**Ключевые слова:** робот; траектория движения; плиты; грунт; дорога.

**Keywords:** robot; the trajectory; slabs; gravel; road.

Во всем мире вместе с ростом объемов строительства мощных покрытий появилась необходимость в специализированной технике, способной заменить человека на трудоемких массовых операциях. Механизованная укладка дорожных плит появилась в конце 1970-х годов в Германии и прошла эволюционный путь от простых механических укладчиков до автоматизированных систем мощения, позволяющих производить не только укладку, но и множество других операций с помощью различного навесного оборудования и специализированных рабочих органов. (Рис. 1)



**Рисунок 1. Специализированные машины для укладки плит**

В настоящее время в мире механизированное мощение занимает лидирующие позиции на рынке работ большого объема. Такую популярность можно объяснить его преимуществами, основными из которых являются, помимо высокого качества и производительности, способность обеспечивать точный рисунок всего покрытия, избегать неровностей покрытия при укладке при соблюдении соответствующей технологии и получать равные межшовные

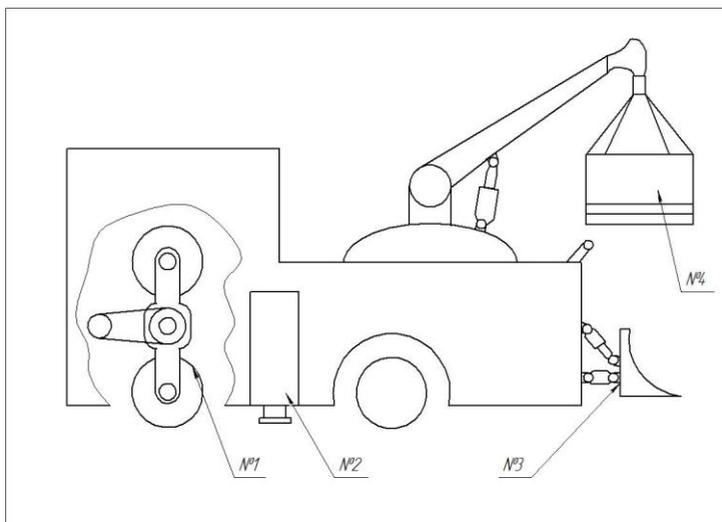
расстояния на всей площади покрытия. Механизмы для укладки дорожных плит производит множество компаний. При проектировании своей техники они используют разные конструкторские решения, тем не менее, у машин этих производителей примерно одинаковые технические характеристики. Производители техники для укладки плит не ограничиваются машинами и навесным оборудованием, они разрабатывают и комплекс механизмов, позволяющих подготавливать слои основания покрытия и основания для бордюров и водостоков, заполнять швы покрытий. Основой всех этих машин является самоходное устройство, оснащенное стрелой-манипулятором. Стрела с захватом-грейфером либо другим навесным оборудованием приводится в движение гидравликой. (Рис. 2)



***Рисунок 2. Техника, оснащенная навесным оборудованием***

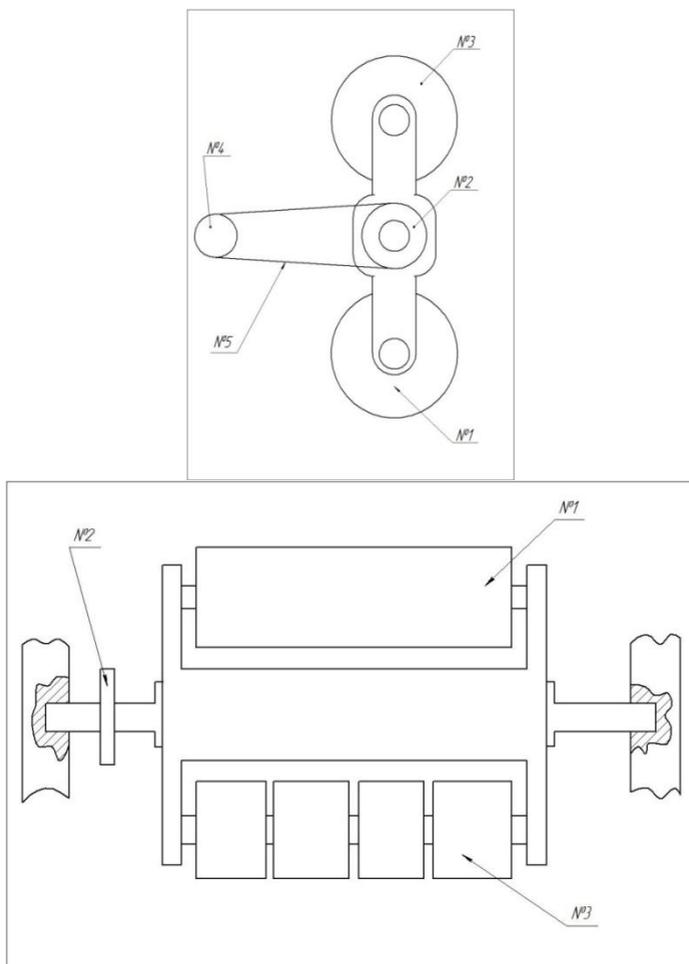
Создавая машины, производители преследуют разные цели. Большинство компаний идут по пути универсализации машин, оснащая их функциями, заменяющими часть строительной техники на стройплощадке. Этим путем пошли компании Hydromak и Probst, специализирующиеся на производстве гидравлического оборудования для строительства. Помимо оборудования для мощения они создают грузоподъемное оборудование и механизмы для разгрузки пакетов дорожных плит и других элементов, используемых при возведении мощеных покрытий. Компания Optimas выбрала путь узкой специализации и занимается производством технических устройств, механизмов, машин и оборудования, применяемого только при возведении мощеных дорожных покрытий. Машины-укладчики являются ее основной продукцией. Машины-укладчики производителей ведут укладку с готового неуплотненного покрытия. А покрытие для укладки дорожных плит приготавливает человек, но не машина. На данный момент существуют только механические машины управляемые человеком, находясь непосредственно в машине [1]. Для облегчения приготовления грунта для укладки дорожных плит,

и конечно же самих плит, предлагаем модернизировать данный тип машин на автоматизированный, управляя машиной дистанционно либо сделать ее полностью роботизированной. Она же сможет самостоятельно приготовить грунт для укладки плит и сама же их выложит. (Рис. 3)



**Рисунок 3. Модель роботизированной машины**  
**№ 1 — механизм, который меняет валец на колеса;**  
**№ 2 — механизм опор; № 3 — отвал;**  
**№ 4 — механизм укладки плит**

В машину (рис. 3) входит: 1) механизм, используемый для уплотнения грунта и плит 2) механизм опор. Который служит для того чтоб приподнять машину и заменить валец на колеса или на оборот. 3) отвал. Который нужен для того чтобы выровнять высыпанный на грунт песок. 4) механизм укладки плит. Важной характеристикой является способность захвата-грейфера при помощи гидравлических сдвигающих устройств перемещать плиты в обоих направлениях, что позволяет применять для машинной укладки плиты с горизонтальным типом связи. (Рис. 5) На картинке видно, что захватывается верхняя часть плитки, поэтому пакет можно точно выравнять с краем рабочей зоны.



**Рисунок 4. Основные части роботизированной машины**  
 № 1 — валец; № 2 — зубчатое колесо, жестко прикрепленное к оси механизма; № 3 — колеса; № 4 — зубчатое колесо привода; № 5 — цепь



*Рисунок 5. Механизм укладки плит*

Работа автоматизированной машины заключается в следующем: 1) Машина выравнивает песок отвалом (рис. 1, № 3); 2) При помощи опор (рис. 1, № 2), машина приподнимается для обеспечения замены колес на валец; 3) Уплотняет выровненный песок; 4) При помощи опор (рис. 1, № 2), машина приподнимается для обеспечения замены вальца на колеса; 5) машина подъезжает к поддону с плитками; 6) Захватывает первый слой механизмом укладки плит (рис. 1, № 4); 7) Перемещается непосредственно к месту установления плитки; 8) Кладет плитку на приготовленный заранее грунт; 9) На последнем этапе машина уплотняет уже выложенную плитку.

Вопросы формирования траекторий является одной из главных задач. В этой работе представлена техника интерполяции кубическими сплайнами в пространстве обобщенных координат, методы получения последовательности значений скоростей и ускорений, которые позволяют обеспечить минимальное время движения с учетом ограничений на значения скоростей и ускорений. При этом предварительно решается обратная кинематическая задача, которая отображает опорные точки в декартовых координатах в соответствующие значения обобщенных координат. Для многих практических приложений важно иметь возможность оперативно формировать программные движения непосредственно в процессе движения робота, при аналитическом планировании движений и их имитации. Однако в связи с тем, что кинематические преобразования являются поточечными, трудно получить непрерывное отображение траектории в обобщенных координатах. Для решения этой проблемы в работе предполагается использовать аппроксимацию первого порядка траектории, основанную на интерполяции, выполняемой в декартовом пространстве. При этом функции, которые аппроксимируют траекто-

рию и поточечную траекторию, получаемую с использованием прямой кинематической модели, имеют одинаковые граничные условия, т. е. в опорных точках обе функции имеют идентичные значения по положению и скоростям. Цель данной работы заключается в определении траектории движения исполнительного органа на основе законов изменения обобщенных координат в степенях подвижности, получаемых методом интерполяции. Эту проблему можно разрешить, используя прямые кинематические преобразования, однако такой способ является поточечным, что требует запоминания большого числа точек траектории  $q(t)$ , чтобы обеспечить хорошую аппроксимацию траектории движения исполнительного органа робота в рабочем пространстве. Этот процесс можно в значительной мере упростить, если использовать аппроксимацию требуемой траектории движения. Предполагая, что траектории  $q(t)$  интерполируются с использованием кубических полиномов, можно показать, что кубическая интерполяция переменных положения робота в декартовых координатах является аппроксимацией первого порядка траектории, заданной поточечно. Пусть одномерная траектория  $a(t)$  имеет определенные значения  $X_k = g(t_k)$  моменты времени  $t_k, k = 1 \dots, n$ . Она аппроксимируется и интерполируется рядом кубических полиномов  $f_k(t)$  вида  $f_k(t) = a_k(t-t_k)^3 + b_k(t-t_k)^2 - c_k(t-t_k) + d_k$  (1), где  $a_k, b_k, c_k, d_k$  — коэффициенты;  $f_k(t)$  — значения функции на интервале  $t_k \leq t \leq t_{k+1}$ ;  $t$  — непрерывная переменная времени, а  $t_k$  и  $t_{k+1}$  — пределы интервала, соответствующего  $f_k(t)$ . Коэффициенты  $a_k, b_k, c_k, d_k$  определяются так, чтобы последовательность функций  $f_k(t)_f$  и их первые и вторые производные имели следующие граничные значения  $f_{k-1}(t_k) = f_k(t_k)$ ;  $f'_{k-1}(t_k) = f'_k(t_k)$ ;  $f''_{k-1}(t_k) = f''_k(t_k)$  (2), где  $2 \leq k \leq n-1$ . Для удобства введем обозначения  $f_k = f_k(t_k)$ ,  $f'_k = f'_k(t_k)$  и  $f''_k = f''_k(t_k)$ . Коэффициенты полиномов можно определить, разрешая уравнения относительно скоростей и ускорений для внутренних опорных точек. Для простоты в работе рассматривается случай, когда значения скоростей в промежуточных опорных точках не заданы. Исходя из (1) и (2), можно выписать выражения для определения значений коэффициентов:  $a_k = \frac{f'_{k+1} + f'_k}{(t_{k+1} - t_k)^2} - \frac{2(f_{k+1} - f_k)}{(t_{k+1} - t_k)^3}$  (3);  $a_k = \frac{3(f_{k+1} - f_k)}{(t_{k+1} - t_k)^2} - \frac{f'_{k+1} + 2f'_k}{t_{k+1} - t_k}$  (4);  $c_k = f'_k$  (5);  $d_k = f_k$  (6). Значения для скоростей во внутренних точках (т. е.  $f'_k, 2 \leq k \leq n-1$ ), необходимые для выражений (3)–(6), получаются на основе следующих уравнений  $\frac{f'_{k-1}}{t_k - t_{k-1}} + 2 \left( \frac{1}{t_k - t_{k-1}} + \frac{1}{t_{k+1} - t_k} \right) f'_k + \frac{f'_{k+1}}{t_{k+1} - t_k} = \frac{2(f_k - f_{k-1})}{(t_k - t_{k-1})^2} + \frac{3(f_{k+1} - f_k)}{(t_{k+1} - t_k)^2}$ . Это выражение соответствует уравнению вида  $[A] \{f'_k\} = [B] \{f_k\}$ ,

где  $A$  и  $B$  тридиагональные, симметрические, положительно определенные матрицы коэффициентов. Коэффициенты кубических полиномов для  $n-1$  интервала получаются прямой подстановкой в уравнения (3—6).

Рассмотренный в работе метод сплайновой интерполяции на основе кубических полиномов обеспечивает построение ряда из шести уравнений (в соответствии с числом координат в рабочем пространстве), на основе которых формируются непрерывные траектории линейных и угловых перемещений рабочих органов роботов, их скоростей и ускорений. Алгоритм требует  $18n-9$  умножений и  $14n-7$  сложений для определения коэффициентов кубических полиномов для интервалов между  $n$  опорными точками. Вычисление линейных и угловых перемещений, скоростей и ускорений требует  $10$  умножений и  $9$  сложений. Более высокие порядки интерполяционных полиномов позволяют строить более гладкие траектории, имеющие непрерывные производные более высоких порядков. Однако при этом резко возрастают вычислительные трудности. Приводятся результаты численного моделирования для различных случаев формирования программных движений [2, с. 16—18]

#### **Заключение.**

Данная машина способно быстро, безопасно и без использования большого количества рабочих и техники выложить плитку на большом участке.

Многофункциональное изобретение способно давать любой рисунок на любом пространстве и с различной программой запуска.

#### **Список литературы:**

1. Архангельский Г. Механизированная укладка дорожных плит // Основные средства. № 11, 2004. — [Электронный ресурс] — Режим доступа: [http://www.os1.ru/article/road\\_equipment/2004\\_01\\_A\\_2005\\_01\\_17-15\\_43\\_32/](http://www.os1.ru/article/road_equipment/2004_01_A_2005_01_17-15_43_32/) (дата обращения 13.11.2012).
2. Емельянин С.В., Дудин Е.Б., Петров А.А. Работотехника: эксперсс-информация. № 5, 1988 — 24 с.

## СЕКЦИЯ 2.

### ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

#### ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПЫЛЕНИЯ ДОДЕКАНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДАВЛЕНИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

*Аскарова Алия Сандыбаевна*

*д-р физ.-мат. наук, профессор,*

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби,*

*г. Алматы*

*E-mail: [Aliya.Askarova@kaznu.kz](mailto:Aliya.Askarova@kaznu.kz)*

*Болегенова Салтанат Алихановна*

*д-р физ.-мат. наук, профессор,*

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби,*

*г. Алматы*

*E-mail: [Saltanat.Bolegenova@kaznu.kz](mailto:Saltanat.Bolegenova@kaznu.kz)*

*Березовская Ирина Эдуардовна*

*PhD, старший преподаватель,*

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби,*

*г. Алматы*

*E-mail: [Irina.Voloshina@kaznu.kz](mailto:Irina.Voloshina@kaznu.kz)*

*Оспанова Шынар Сабитовна*

*магистр техники и технологии, преподаватель,*

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби,*

*г. Алматы*

*E-mail: [shinar\\_ospanova87@mail.ru](mailto:shinar_ospanova87@mail.ru)*

# NUMERICAL STUDY OF ATOMIZATION DODECANE DEPENDING ON THE PRESSURE IN THE CYLINDRICAL COMBUSTION CHAMBER

*Aliya Askarova*

*Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor  
al-Farabi Kazakh National University, Almaty*

*Saltanat Bolegenova*

*Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor  
al-Farabi Kazakh National University, Almaty*

*Irina Berezovskaya*

*PhD, Lecturer  
al-Farabi Kazakh National University, Almaty*

*Shynar Ospanova*

*Master of Engineering and Technology, Lecturer  
al-Farabi Kazakh National University, Almaty*

## АННОТАЦИЯ

Данная статья посвящена важному исследованию с точки зрения современной физики горения проблемы численного моделирования процессов распыла и горения жидкого топлива при высоких давлениях. Численное исследование горения жидких топлив является сложной задачей теплофизики, так как требует учета большого количества сложных взаимосвязанных процессов и явлений. Поэтому вычислительный эксперимент становится все более важным элементом исследования процессов горения и проектирования различных устройств, использующих процесс горения.

## ABSTRACT

This article is dedicated to the important investigation from the point of view of modern physics of combustion problems of numerical simulation of spray and combustion processes of liquid fuel at high pressures. Numerical study of the liquid fuels combustion is complex problem of thermal physics, as it requires account of more complex inter-related processes and phenomena. So the computational experiment is an increasingly important element of the study of combustion processes and design of various devices that use the combustion process.

**Ключевые слова:** горение; жидкое топливо; высокое давление; численное моделирование.

**Keywords:** combustion; liquid fuel; high pressure; numerical simulation.

На современном этапе развитие промышленности Республики Казахстан очень остро встает вопрос о повышении эффективности процессов, связанных с производством энергии, при соблюдении строгих норм выброса вредных веществ и экономичным использованием оборудования.

Актуальность данной статьи обусловлена тем, что в настоящее время, основным источником вырабатываемой энергии (около 80 %) является энергия, различных типов топлив. Горение будет оставаться основным источником энергии еще много лет, несмотря на то, что применение ядерной энергии в промышленности развитых странах расширяется, а методы использования энергии солнца, ветра и приливов интенсивно разрабатываются. Проблема образования вредных веществ и ограниченность ресурсов топлива приводит к необходимости организации более экономичных способов его сжигания [3].

Одно из перспективных решений в данной области — численное моделирование процессов горения. Реализация новых технологий определяется в конечном итоге уровнем разработки методов расчета соответствующих физико-химических процессов, протекающих при горении жидкого топлива. Разработка метода расчета таких течений тесно связана с расчетно-теоретическими и экспериментальными исследованиями теплофизических процессов движения и нагрева частиц топлива. Использование новейших информационных технологий моделирования дают возможность, при хорошо развитом алгоритмическом и программном обеспечении, используя соответствующие модели, провести аналитические исследования влияния начальных параметров на процессы, происходящие при сжигании жидких топлив. Результаты фундаментального исследования процессов физики и химии горения могут в значительной степени влиять на эффективность работы различных технических устройств, в частности, двигателей внутреннего сгорания.

Данная статья посвящена важному исследованию с точки зрения современной физики горения проблемы численного моделирования распыла и горения жидкого топлива при высоких давлениях.

Решение задачи о распылении и горении жидкого топлива осуществляется методами численного моделирования с использо-

ванием дифференциальных уравнений, описывающих турбулентное течение при наличии химических реакций, и представлены основными уравнениями: неразрывности, движения, внутренней энергии, к-е модель турбулентности, а так же начальными и граничными условиями [1].

Уравнение неразрывности для компоненты реакции  $m$  имеет вид:

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \bar{\nabla}(\rho_m \bar{u}) = \bar{\nabla} \left[ \rho D \bar{\nabla} \left( \frac{\rho_m}{\rho} \right) \right] + \dot{\rho}_m^c + \dot{\rho}_m^s, \quad (1)$$

где  $D$  — коэффициент диффузии,

$\rho_m$  — массовая плотность жидкой фазы,

$\rho$  — полная массовая плотность,

$\dot{\rho}_m^c$  — химический источниковый член;

$\dot{\rho}_m^s$  — источниковый член вследствие впрыска;

$\bar{u}$  — скорость жидкости.

Уравнение неразрывности для жидкости, имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \bar{\nabla}(\rho \bar{u}) = \dot{\rho}^s. \quad (2)$$

Уравнение движения для смеси жидкостей:

$$\frac{\partial(\rho \bar{u})}{\partial t} + \bar{\nabla}(\rho \bar{u} \bar{u}) = -\frac{1}{a^2} \bar{\nabla} p - A_0 \bar{\nabla} \left( \frac{2}{3} \rho k \right) + \bar{\nabla} \bar{\sigma} + \bar{F}^s + \rho \bar{g}, \quad (3)$$

где  $p$  — давление жидкости,

$\alpha$  — безразмерная величина,  $A_0$  равно 0 при ламинарном течении и 1 — при турбулентности. Тензор вязких напряжений имеет вид:

$$\sigma = \mu \left[ \bar{\nabla} \bar{u} + (\bar{\nabla} \bar{u})^T \right] + \lambda \bar{\nabla} \bar{u} \bar{I}. \quad (4)$$

Здесь  $\mu$  — динамическая вязкость жидкости,

$\lambda$  — коэффициент вязкости,

$g$  — ускорение свободного падения и  $I$  — удельная внутренняя энергия.

Уравнение внутренней энергии представлено ниже:

$$\frac{\partial(\rho\vec{I})}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho\vec{u}\vec{I}) = -\rho\vec{\nabla}\vec{u} + (1 - A_0)\vec{\sigma}\vec{\nabla}\vec{u} - \vec{\nabla}\vec{J} + A_0\rho\varepsilon + \dot{Q}^c + \dot{Q}^s, \quad (5)$$

где  $\dot{Q}^c$  — источниковый член, обусловленный тепловыделением в результате химической реакции и  $\dot{Q}^s$  — тепло, которое приносит впрыскиваемое топливо. Вектор теплового потока  $J$  складывается из электропроводности и переноса энтальпии.

При использовании модели турбулентности ( $A_0=1$ ) решаются уравнения для кинетической энергии турбулентности  $k$  и скорости ее диссипации  $\varepsilon$ :

$$\frac{\partial\rho k}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho\vec{u}k) = -\frac{2}{3}\rho k\vec{\nabla} \cdot \vec{u} + \sigma \cdot \nabla\vec{u} + \vec{\nabla} \cdot \left[ \left( \left( \frac{\mu}{Pr_k} \right) \vec{\nabla}k \right) \right] - \rho\varepsilon + \dot{W}^s, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial\rho\varepsilon}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho\vec{u}\varepsilon) = & -\left(\frac{2}{3}c_{\varepsilon 1} - c_{\varepsilon 2}\right)\rho\varepsilon\vec{\nabla} \cdot \vec{u} + \vec{\nabla} \cdot \left[ \left( \left( \frac{\mu}{Pr_\varepsilon} \right) \vec{\nabla}\varepsilon \right) \right] + \\ & + \frac{\varepsilon}{k} [c_{\varepsilon 1}\vec{\sigma}\vec{\nabla}\vec{u} - c_{\varepsilon 2}\rho\varepsilon + c_s W^s]. \end{aligned} \quad (7)$$

Величина  $\dot{W}^s$  возникает вследствие взаимодействия с распылителем. Константы  $c_{\varepsilon 1}, c_{\varepsilon 2}, c_s, Pr_k, Pr_\varepsilon$  определяются из эксперимента [1].

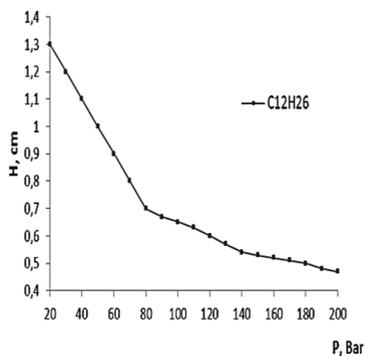
При высоких давлениях струя топлива, впрыснутая в застойный воздух, распадается на капли и нити и взаимодействует с окислителем. При крупном распыле топлива процесс его сгорания происходит менее эффективно, что приводит к потере мощности и дополнительному потреблению топлива, в свою очередь, это отражается на формировании вредных веществ. Механизм распыла топлива в условиях высокого давления подобен условиям в дизельных двигателях. Исследования последних лет показали, что на сложный процесс распада капель влияют многие явления, например, турбулентность, кавитационные карманы вблизи форсунки и другие явления.

Существует несколько моделей распыла топлива. Наиболее широко известна глобальная модель механизма распада топлива, включающая в себя классическую модель вторичного распада. В данной статье представлены результаты численного моделирования процессов распыления и горения жидкого топлива в зависимости от давления в камере использованием математической стохастической модели вторичного распыла [2]. Процесс распыления додекана ( $C_{12}H_{26}$ ) в камере сгорания осуществлялся при значениях давления от 20 бар

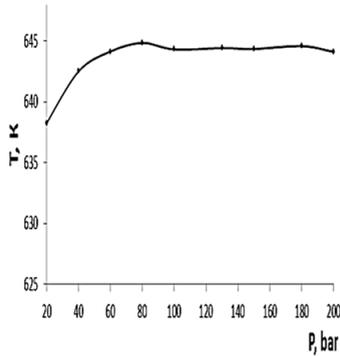
до 200 бар с интервалом в 20 бар. Жидкое топливо массой 0,06 г при температуре 298 К распылялось через сопло, расположенное в центре основания камеры. Топливо, впрыскиваемое в камеру сгорания, которая была заполнена воздухом при температуре 800 К, сначала испарилось, после чего сгорело в газовой фазе. Процесс горения жидкого топлива в среднем занимал 4 мс. Время распыления жидкого топлива равно  $1,4 \cdot 10^{-3}$  с.

Результаты вычислительных экспериментов проиллюстрированы рисунками 1—2. Общая картина влияния давления в камере сгорания на размер области распыления додекана (рис. 1) показывает, что рост давления в камере сгорания от 20 бар до 200 бар приводит к снижению области распыла от 1,3 см до 0,42 см, т. е. уменьшается высота проникновения капель топлива, так как впрыскиваемая жидкость испытывает при этом большее сопротивление. При давлении 80 бар максимальная высота области распыла 0,7 см, а уже при давлении 200 бар — 0,42 см. При этом размеры капель жидкого топлива колеблются в интервале от 6 до 40 мкм.

При рассмотрении зависимости температуры капель додекана от давления (рис. 2), можно заметить, что максимальная температура капель додекана достигает значения 645 К при давлении 80 бар, после чего уже не поднимается выше этого значения при увеличении давления в камере сгорания. Дальнейшее увеличение давления приводит к уменьшению температуры капель жидкого топлива, что, несомненно, скажется на ухудшении процесса воспламенения и дальнейшего горения.

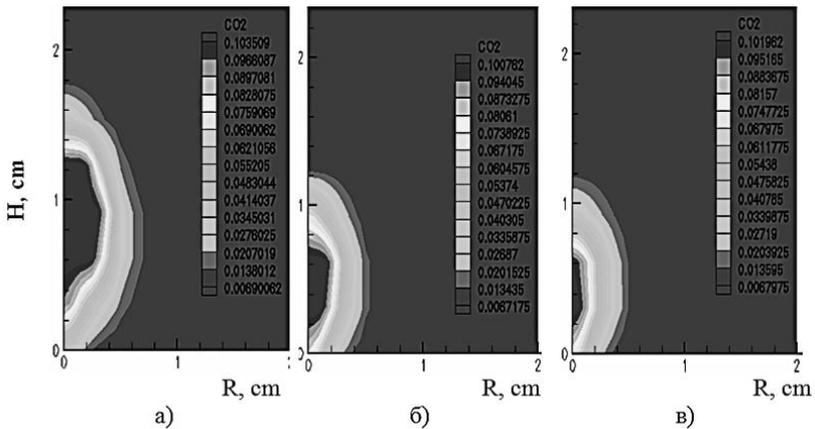


**Рисунок 1. Зависимость размера области распыла капель додекана по высоте камеры сгорания от давления**



**Рисунок 2. Зависимость температуры капелек додекана от давления в камеры сгорания**

На рисунке 3 показано влияние давления в камере сгорания на распределение концентрации углекислого газа. При увеличении давления от 40 бар до 100 бар область высоких концентраций углекислого газа уменьшается, так как с увеличением плотности окислителя в камере сгорания, увеличивается и сопротивление, оказываемое окислителем на углекислый газ, а при давлении 100 бар максимальная концентрация  $\text{CO}_2$  увеличивается.



**Рисунок 3. Распределение концентрации углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) при сжигании додекана в камере сгорания в момент времени  $t=1.5 \cdot 10^{-3}$  с при давлении: а) 40 бар, б) 80 бар, в) 100 бар**

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что область распыла топлива и высоких концентраций углекислого газа уменьшается с увеличением давления, и это связано с повышением плотности газа в камере сгорания и соответственно, с усилением сопротивления движению струи топлива. Мы предполагаем, что оптимальным давлением для додекана является 80 бар, при котором температура каплей достигает максимального значения равного 645 К, а концентрация  $\text{CO}_2$  достигает небольшого значения 0,1007 г/г. Этот результат подтверждается другими нашими вычислительными экспериментами. Полученные результаты исследования процесса горения жидкого топлива позволят в значительной степени оптимизировать организацию процесса его сжигания, сократить затраты на проектирование различных камер сгорания (двигатели внутреннего сгорания, ракетные двигатели) и решить ряд экологических проблем.

### **Список литературы:**

1. Amsden A., O'Rourke P.J., Butler T.D.: KIVA-II: A Computer Program for Chemically Reactive Flows with Sprays. — Los Alamos: National Laboratory Los Alamos, National Laboratory Report No. LA-11560-MS, 1989. — 312 p.
2. Gorokhovski M., Chtab-Desporter A., Voloshina I., Askarova A. Stochastic simulation of the spray formation assisted by a high pressure // 6th International Symposium on Multiphase Flow, Heat mass transfer and energy conversion: proceedings of conference. — Xi'an, 2009. — P. 254—261.
3. Vinkovic I., Simoons S., Gorokhovski M. Large eddy simulation of droplet dispersion for inhomogeneous turbulent wall flow // Int. J. of Multiphase Flow. 2005. Vol. 32. № 3. P. 344—364.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА  
БИОГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ**

***Караева Юлия Викторовна***

*канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Академэнерго,  
г. Казань*

*E-mail: [julieenergy@list.ru](mailto:julieenergy@list.ru)*

***Трахунова Ирина Александровна***

*мл. науч. сотр., Академэнерго,  
г. Казань*

*E-mail: [irseen2@yahoo.com](mailto:irseen2@yahoo.com)*

**ENERGY EFFICIENCY THE BIOGAS  
PRODUCTION FLOW CHART INCLUDING  
HYDRAULIC MAXING**

***Yulia Karaeva***

*Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher Akademenergo, Kazan*

***Irina Trakhunova***

*Junior Researcher Akademenergo, Kazan*

*Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии  
Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам,  
осуществляющим перспективные научные исследования и разработки  
по приоритетным направлениям модернизации российской экономики  
№ СП-2442.2012.1*

**АННОТАЦИЯ**

В статье рассмотрена технологическая схема процесса метанового брожения с модифицированным гидравлическим способом перемешивания. Проведена оценка энергетической эффективности метантенка, а также технологической схемы производства биогаза в целом на основании методики теплового и термодинамического анализа.

## ABSTRACT

The flow chart of an anaerobic digestion using a modify hydraulic maxing is considered in this paper. Energy efficiency the biogas production flow chart is estimated basing on procedure of thermal and thermodynamic analysis.

**Ключевые слова:** метантенк; тепловой и эксергетический анализ; эффективность.

**Keywords:** digester; heat and energy analysis; efficiency.

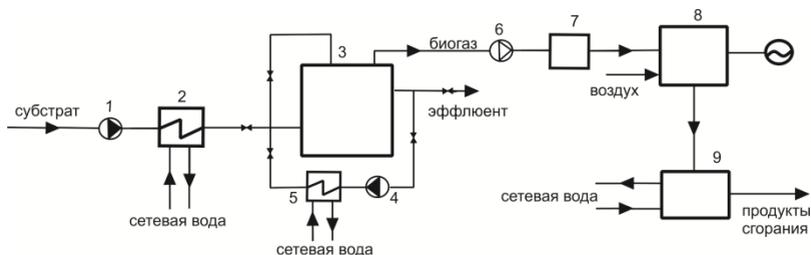
Получение тепловой и электрической энергии на установках, использующих возобновляемые источники энергии, является одним из перспективных направлений развития мировой энергетики. Одним из таких направлений является анаэробная переработка органических отходов с получением биогаза.

Одним из факторов, обеспечивающим эффективное протекание процесса, является перемешивание органического субстрата в метантенке. Перемешивание должно обеспечивать равномерное распределение микроорганизмов-метаногенов по объему реактора, а также быть достаточно деликатным, чтобы не привести к гибели микроорганизмов. При проектировании системы перемешивания также необходимо учесть возможность выпадения осадка на дно реактора, расслоение субстрата и образование корки на поверхности сбраживаемого сырья, препятствующей выходу биогаза.

В работе рассмотрена технологическая схема процесса метанового брожения с модифицированным гидравлическим способом перемешивания. Перемешивание в метантенке осуществляется рециркуляцией субстрата через два подводящих и один отводящий патрубок. Биомасса под давлением, с помощью насоса, подается через первый подводящий патрубок в придонную область метантенка, препятствуя образованию осадка, и через второй подводящий патрубок — на уровень зеркала жидкости. На выходе верхнего патрубка может располагаться аксиально-лопаточный закручиватель (АЛЗ), для изменения направления вектора скорости таким образом, чтобы увеличить воздействие на свободную поверхность и еще более уменьшить возможность образования корки.

Технологическая схема метанового брожения с системой гидравлического перемешивания представлена на рис.1. Субстрат насосом 1 подается для подогрева до температуры сбраживания в теплообменник 2. Перемешивание субстрата в метантенке 3 осуществляется гидравлическим способом с помощью циркуляционного

насоса 4. Поддержание температуры сбраживания в метантенке происходит за счет применения интенсифицированного выносного теплообменника 5. Получаемый в процессе метанового сбраживания биогаз компрессором 6 нагнетается в газгольдер среднего давления 7. Далее биогаз подается в ДВС мини-ТЭС 8. Теплота отработанных газов в котле-утилизаторе 9 передается теплоносителю из обратной системы теплоснабжения.



**Рисунок 1. Технологическая схема метанового брожения биоотходов с системой гидравлического перемешивания:**  
**1 — фекальный насос; 2 — теплообменник типа «труба в трубе»**  
**3 — метантенк, объем 250 м<sup>3</sup>; 4 — циркуляционный насос;**  
**5 — теплообменник; 6 — компрессор; 7 — газгольдер;**  
**8 — мини-ТЭС; 9 — котел-утилизатор.**

В качестве примера рассмотрена технологическая схема производства биогаза на свиноводческом комплексе Республики Татарстан с количеством свиней на откорме 1846 голов (с массой до 70 кг).

#### **Результаты теплового и термодинамического анализа**

Методика теплового расчета изложена в [1]. Тепловой КПД для схем вычисляется по формуле:

$$\eta_1 = \frac{Q_{г.в.}'' + Q_{эл}}{Q_{под1} + Q_{под2} + Q_б + Q_в + Q_{г.в.}'} \quad (1)$$

где:  $Q_{г.в.}''$  — количество теплоты, отводимой из котла-утилизатора с горячей сетевой водой;

$Q_{эл}$  — электроэнергия, вырабатываемая в схеме;

$Q_{\text{под1}}$  — среднее количество теплоты, передаваемое субстрату в единицу времени в процессе непрерывного подогрева от  $t'_c$  до  $t''_c$ ;

$Q_{\text{под2}}$  — среднее количество теплоты, передаваемое субстрату в процессе метанового брожения в резервуаре;

$E'_{\text{возд}}$  — теплота биогаза, полученного в резервуаре и подаваемого в ДВС;

$Q_{\text{в}}$  — теплота воздуха, подаваемого в ДВС;

$Q''_{\text{г.в.}}$  — количество теплоты, подведенной с горячей сетевой водой к котлу-утилизатору.

В таблице 1 приведены результаты теплового расчета.

*Таблица 1.*

**Количество потребляемой теплоты и тепловая эффективность технологических схем производства биогаза**

Вид оборудования	Количество потребляемой теплоты, кВт		Тепловой к.п.д.	
	Зимний период	Летний период	Зимний период	Летний период
Теплообменник	39,09	28,17	0,66	0,72
Метантенк	240,31	202,12	0,13	0,48
Мини-ТЭС	233,81	240,95	0,88	0,86
Котел-утилизатор	63,32	58,63	0,90	0,95
В целом по схеме	<b>576,52</b>	<b>529,86</b>	<b>0,80</b>	<b>0,84</b>

Результаты теплового анализа показывают, что наиболее энергоемким элементом схемы является метантенк, тепловой КПД этого аппарата в зимний период составляет 13 %. В летний период тепловой КПД метантенка увеличивается на 35 %. В зимний период общий КПД схемы составляет 80 %, а в летний — 84 %.

Значения параметров потоков, полученные в результате теплового расчета, а также данные по затратам электрической энергии на привод механизмов и гидравлическому сопротивлению основных аппаратов и транспортирующих участков являются исходными данными для более глубокого анализа работы технологических схем производства биогаза.

Термодинамический анализ является одним из известных методов исследования различных технологических и энергетических процессов.

Формула для определения эксергетического КПД всей схемы имеет следующий вид [1]:

$$\eta_2 = \frac{E_{\text{вых}}^{KY} + L_{\text{эл}}}{\sum E_{\text{ex}}^{TO} + \sum E_{\text{ex}}^P + E'_{\text{возд}} + L_{\text{под}} + \sum E_{\text{ex}}^{KY}} \quad (2)$$

где:  $E_{\text{вых}}^{KY}$  — эксергия отводимая от котла-утилизатора сетевой водой;

$L_{\text{эл}}$  — электрическая мощность мини-ТЭС;

$\sum E_{\text{ex}}^{TO}$  — суммарная эксергия подводимая к теплообменному аппарату сетевой водой и субстратом;

$\sum E_{\text{ex}}^P$  — суммарная эксергия подводимая к метантенку;

$E'_{\text{возд}}$  — эксергия воздуха на входе в мини-ТЭС;

$L_{\text{под}}$  — подводимая электрическая мощность;

$\sum E_{\text{ex}}^{KY}$  — суммарная эксергия подводимая к котлу-утилизатору продуктами сгорания и сетевой водой.

Результаты термодинамического анализа представлены в таблице 2.

Наименее энергоемким элементом схемы с термодинамической точки зрения является метантенк, что объясняется учетом химической составляющей эксергии органических веществ.

**Таблица 2.**

**Результаты термодинамического расчета  
для технологических схем производства биогаза**

Вид оборудования	Количество подведенной эксергии, кВт		$\eta$	
	Зимний период	Летний период	Зимний период	Летний период
Теплообменник	51,46	34,46	0,47	0,54
Метантенк	276,65	261,34	0,69	0,73
Мини-ТЭС	246,31	249,63	0,44	0,41
Котел-утилизатор	121,32	71,80	0,30	0,36
В целом по схеме	<b>695,74</b>	<b>617,23</b>	<b>0,18</b>	<b>0,20</b>

Термодинамический анализ показал, что эксергетический КПД технологической схемы с гидравлической системой перемешивания в летний период составляет 20 %, в зимний период — 18 %.

### **Заключение**

Проведен тепловой и термодинамический анализ технологической схемы метанового брожения с модифицированной системой гидравлического перемешивания.

### **Список литературы:**

1. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. — М.: издательство МЭИ, 2002. — 612 с.

### СЕКЦИЯ 3.

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

### ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕЗАВТОКЛАВНЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

*Володченко Александр Анатольевич*

*аспирант Белгородского государственного  
технологического университета им. В.Г. Шухова,  
г. Белгород*

*E-mail: [volodchenko@intbel.ru](mailto:volodchenko@intbel.ru)*

### DURABILITY OF NON-AUTOCLAVE SILICATE MATERIALS BASED ON SAND-SHALE

*Aleksandr Volodchenko*

*graduate of Belgorod State Technological University named after  
V.G. Shukhov, Belgorod,*

#### АННОТАЦИЯ

Установлено, что песчано-глинистые породы незавершенной стадии глинообразования пригодны для получения атмосферостойких безавтоклавных силикатных материалов.

#### ABSTRACT

It has been that sand and clay rocks of incomplete clay formation stage can be used for production of weatherproof non-autoclave silicate materials.

**Ключевые слова:** песчано-глинистые породы; известково-песчано-глинистое вяжущее; силикатные материалы; долговечность.

**Keywords:** sand-clay rocks, lime-sand binder, silicate materials, durability.

В современных условиях на первый план выходят задачи увеличения производства и расширения области применения эффективных стеновых материалов, для производства которых используются промышленные отходы и местное сырье. Ранее проведенными исследованиями было показано, что для производства автоклавных силикатных материалов можно использовать глинистые породы незавершенной стадии глинообразования, которые в больших количествах попадают в зону горных работ при добыче полезных ископаемых [1—11, 21].

Глинистые отложения — это продукты одной из заключительных фаз выветривания алюмосиликатных пород. Из всей гаммы глинистых отложений промышленность использует лишь малую часть, которая удовлетворяет действующим нормативно-техническим документам. Эти глины используются для производства цемента, керамических материалов, а также их можно применять для получения металлокомпозитов [12—20].

Установлено, что глинистые породы незавершенной стадии глинообразования можно использовать также в качестве сырья для получения безавтоклавных силикатных материалов [22]. Однако возникает вопрос о долговечности таких материалов, так как глинистые минералы могут оказать отрицательное влияние прочность цементирующей связки.

Целью настоящей работы является изучение долговечности безавтоклавных силикатных материалов на основе песчано-глинистых пород.

В исследованиях использовали супесь — вскрышную песчано-глинистую породу Курской магнитной аномалии. Глинистая фракция породы представлена монтмориллонитом, гидрослюдой, каолинитом и смешаннослойными образованиями. Активность используемой негашеной извести составляла 78,3 мас. %.

Образцы готовили методом полусухого прессования. Измельченную известь и супесь перемешивали, увлажняли необходимым количеством воды и выдерживали в герметичной чашке до полного гашения извести. Содержание извести составляло 5—15 мас. %. Прессование проводили при давлении 20 МПа. Образцы подвергали гидротермальной обработке при температуре 90—95°C по режиму 1,5+8+1,5 ч. Для оценки влияния действия воды на прочностные свойства полученного материала образцы каждого состава выдерживали в течение 1 года в водопроводной воде. Результаты экспериментов приведены на рис. 1.



**Рисунок 1. Прочность образцов в зависимости от содержания извести:**

- 1 — после 2-х сут хранения при комнатной температуре;  
 2 — водонасыщенные; 3 — водонасыщенные после года хранения в воде**

Максимальная прочность образцов в сухом и водонасыщенном состоянии достигается при содержании извести 10 мас. % и составляет соответственно 22,58 и 18,35 МПа. Прочность водонасыщенных образцов, выдержанных 1 год в воде, повысилась почти в два раза в сравнении с исходными образцами. Максимальной прочности 34,71 МПа образцы достигают при содержании извести 12 мас. %. Повышение прочности, вероятно, связано с тем, что породообразующие минералы породы обеспечивают синтез цементирующего соединения, обладающего гидравлическими свойствами.

С целью интенсификации синтеза новообразований часть песчано-глинистой породы подвергали совместному помолу с известью. Сырьевую смесь готовили путем смешивания полученного известково-песчано-глинистого вяжущего (ИПГВ) с исходной супесью. В экспериментах использовались составы с ИПГВ, в которых соотношение извести к супеси составляло 1:1, 1:1,5, 1:2 и 1:2,5. Полученные образцы подвергали 100 циклам попеременного увлажнения и высушивания. Результаты экспериментов приведены в табл. 1

**Таблица 1.****Физико-механические свойства силикатных материалов  
на основе ИПГВ**

<b>Физико-механические характеристики</b>	<b>Соотношение известь: супесь в вяжущем</b>			
	<b>1:1</b>	<b>1:1,5</b>	<b>1:2</b>	<b>2,5</b>
Предел прочности при сжатии, МПа	18,90	19,60	20,02	20,20
Предел прочности при сжатии после 100 циклов попеременного увлажнения и высушивания, МПа	28,20	30,28	34,17	32,85
Потеря прочности после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания, %	0,78	0,81	0,73	0,77

Изменение соотношения извести к супеси с 1:1 до 1:2,5 приводит лишь к незначительному повышению прочности образцов. Использование ИПГВ вместо молотой извести не повышает прочности изделий, а даже несколько снижает. Можно предположить, что содержание тонкодисперсных минералов в исходной супеси достаточно для формирования прочной микроструктуры цементирующего вещества и увеличение тонкодисперсной составляющей за счет дополнительного помола части породы приводит к формированию состава новообразований, снижающих прочностные показатели материала. После испытания на попеременное увлажнение-высушивание прочность образцов существенно возросла. Повышение прочности составило от 49,2 % (состав ИПГВ 1:1) до 87,7 % (состав ИПГВ 1:2). Следовательно, оптимальное соотношение извести к супеси составляет 1:2. Морозостойкость образцов составляет 15 циклов, что соответствует показателям рядового кирпича.

Повышение прочности композитов после попеременного увлажнения и высушивания связано, вероятно, с гидравлическими свойствами полученного материала. Очевидно, при нахождении образцов в воде дальнейшая гидратация и перекристаллизация новообразований оказывает большее влияние на повышение прочности материала, чем разрушающее действие при попеременном увлажнении и высушивании.

Таким образом, песчано-глинистые породы пригодны для получения атмосферостойких безавтоклавных силикатных материалов. Морозостойкость составляет 15 циклов. Использование известково-песчано-глинистого вяжущего вместо молотой извести

несколько снижает прочностные показатели силикатных материалов. Оптимальное соотношение извести к супеси в вяжущем составляет 1:2. Выбор в качестве вяжущего молотой извести или ИПГВ будет зависеть от вещественного состава используемых песчано-глинистых пород.

### Список литературы:

1. Алфимов С.И., Жуков Р.В., Володченко А.Н., Юрчук Д.В. Техногенное сырье для силикатных материалов гидратационного твердения // Современные наукоемкие технологии. — 2006. — № 2. — С. 59—60.
2. Володченко А.Н. Особенности взаимодействия магнезиальной глины с гидроксидом кальция при синтезе новообразований и формирование микроструктуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2011. — № 2. — С. 51—55.
3. Володченко А.Н. Глинистые породы — сырье для производства автоклавных ячеистых бетонов // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. — 2012. — Т. 26. — № 2. — С. 11—14.
4. Володченко А.Н. Взаимодействие мономинеральных глин с гидроксидом кальция в гидротермальных условиях // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. — 2012. — Т. 30. — № 3. — С. 35—37.
5. Володченко А.Н., Жуков Р.В., Фоменко Ю.В., Алфимов С.И. Силикатный бетон на нетрадиционном сырье // Бетон и железобетон. — 2006. — № 6. — С. 16—18.
6. Володченко А.Н., Жуков Р.В., Алфимов С.И. Силикатные материалы на основе вскрышных пород Архангельской алмазонасной провинции // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. — 2006. — № 3. — С. 67—70.
7. Володченко А.Н., Жуков Р.В., Лесовик В.С., Дороганов Е.А. Оптимизация свойств силикатных материалов на основе известково-песчано-глинистого вяжущего / А.Н. Володченко, // Строительные материалы. — 2007. — № 4. — С. 66—68.
8. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Повышение эффективности производства автоклавных материалов // Известия вузов. Строительство. — 2008. — № 9. — С. 10—16.
9. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Силикатные автоклавные материалы с использованием нанодисперсного сырья // Строительные материалы. — 2008. — № 11. — С. 42—44.
10. Володченко А.Н., Лесовик В.С., Алфимов С.И., Володченко А.А. Регулирование свойств ячеистых силикатных бетонов на основе песчано-глинистых пород // Известия вузов. Строительство. — 2007. — № 10. — С. 4—10.

11. Володченко А.Н., Лесовик В.С., Алфимов С.И., Жуков Р.В. Попутные продукты горнодобывающей промышленности в производстве строительных материалов // Современные наукоемкие технологии. — 2005. — № 10. — С. 79.
12. Ключникова Н.В. Взаимодействие между компонентами при изготовлении металлокомпозитов // Фундаментальные исследования. — 2007. — № 12—1. — С. 95—97.
13. Ключникова Н.В. Термомеханическое совмещение компонентов при создании керамометаллических композитов // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. — 2012. — Т. 6. — № 2. — С. 65—69.
14. Ключникова Н.В. Изучение взаимодействия между компонентами при создании керамометаллических композиционных материалов // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. — 2011. — Т. 10. — № 4. — С. 5—8.
15. Ключникова Н.В. Принципы создания керамометаллического композита на основе глин и металлического алюминия // Естественные и технические науки. — 2012. — № 2(58). — С. 450—452.
16. Ключникова Н.В. Керамометаллические композиционные материалы с высоким содержанием алюминия // Современные проблемы науки и образования. — 2011. — № 6. — С. 107—107.
17. Ключникова Н.В. Влияние пористости на свойства керамометаллических композитов // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. — 2012. — Т. 6. — № 3. — С. 41—45.
18. Ключникова Н.В., Лымарь Е.А. Получение металлокомпозиционных материалов // Стекло и керамика. — 2006. — № 2. — С. 33—34.
19. Ключникова Н.В., Лымарь Е.А., Юрьев А.М., Проблемы совместимости керамической матрицы и металлического наполнителя при изготовлении композитов строительного назначения // Строительные материалы. — 2005. — № 11. — С. 54—56.
20. Ключникова Н.В., Юрьев А.М., Лымарь Е.А. Перспективные композиционные материалы на основе металлической матрицы и неметаллического наполнителя // Успехи современного естествознания. — 2004. — № 2. — С. 69—69.
21. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутнодобываемых пород архангельской алмазносной провинции // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2007. — № 2. — С. 13—18.
22. Лесовик В.С., Строкова В.В., Володченко А.А. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2010. — № 1. — С. 13—17.

# ПРОБЛЕМЫ СОВМЕСТИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ ПРИ СОЗДАНИИ КЕРАМОКОМПОЗИТОВ

*Лымарь Елена Анатольевна*

*канд. техн. наук, научный сотрудник,  
ОАО «Российские космические системы»,  
г. Москва*

*E-mail: [4494.55@mail.ru](mailto:4494.55@mail.ru)*

## PROBLEMS OF COMPONENTS COMPATIBILITY WHEN MAKING CERAMOCOMPOSITES.

*Elena Lymar*

*candidate of engineering sciences, scientist, OJSC "Russian space systems",  
Moscow*

### АННОТАЦИЯ

Для обеспечения совместимости матрицы с металлическим наполнителем и создания однофазной структуры получаемого композита проводилась активация поверхности глин механической обработкой, термической и химической модификацией.

### ABSTRACT

To provide compatibility of a matrix with a metallic filler and to create a monophase structure of a composite being made clay surface activation had been carried out using mechanical processing, thermal and chemical modification.

**Ключевые слова:** совместимость; активация; матрица; модификация

**Key words:** compatibility; activation; matrix; modification

Создание композиционных материалов стало объектом особого внимания в последние 25—30 лет. С самого начала цель создания композитов состояла в том, чтобы достичь комбинации свойств, не присущих каждому из исходных материалов в отдельности [1—8, 18].

Одним из направлений создания композиционных материалов является совмещение неметаллической матрицы с металлическим наполнителем. Композиционные материалы, сочетающие пластичный металлический наполнитель и твердые прочные неметаллические армирующие компоненты, обладают совокупностью физико-механических и эксплуатационных свойств, так как, с одной стороны, пластичный металлический наполнитель позволяет изделию работать в условиях растягивающих и изгибающих напряжений, ударных нагрузок, повышенных температур, а, с другой стороны, жесткий каркас из неметаллических гранул обеспечивает высокую прочность при сжатии. Таким образом, неметаллическая матрица дополняет металлический наполнитель, и получаемый композит превосходит по физико-механическим показателям исходные свойства наполнителя и матрицы. Удешевление композиционных материалов, по сравнению с металлическими изделиями, обеспечивается за счет замены части металла менее дорогим неметаллическим компонентом.

Металлический наполнитель имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными связующими, используемыми в строительных материалах — полимерными, цементными и другими. Эти преимущества создаются благодаря высокому уровню прочностных характеристик, пластичности, вязкости, хорошим литейным и технологическим свойствам.

Нами получены керамические композиционные материалы с высоким содержанием металлического наполнителя методом полусухого прессования с последующей сушкой и обжигом [9—17]. Керамика характеризуется низкой прочностью при растяжении в сочетании с высоким модулем Юнга, низкой ударной вязкостью. При высоких температурах одной из причин выхода из строя изделий из керамики является растрескивание. Введение металлического наполнителя позволило получить интересное сочетание важнейших эксплуатационных характеристик — высокой прочности (включая диапазон высоких температур), усталостной прочности и др. Основные преимущества таких композиционных материалов связаны с высокими температурами эксплуатации (что характерно для керамики) при одновременном значительном повышении прочностных свойств.

В качестве металлического наполнителя выбран алюминий, так как он относительно дешев, обладает хорошей пластичностью и податливостью, низкой температурой плавления. В качестве матрицы использовали каолиновые и монтмориллонитовые глины, начало появления жидкой фазы у которых 1300°C и 800°C соответственно.

Одной из главных проблем возникших при получении композиционного материала предложенным методом явилось достижение совместимости гидрофильных глин с гидрофобным металлическим наполнителем. При этом необходимо было решать две задачи: обеспечение прочной связи между компонентами и предотвращение выделов алюминия на стадии обжига, так как последний при спекании практически в любой среде окисляется, и дальнейшее уплотнение образца зависит, в среде прочих факторов, и от фазовых трансформаций вновь образовавшегося оксида. Поэтому содержание металла, превышающее оптимальное, приводит иногда к выделкам и испарению избытка металла (в вакууме), а чаще к разрыхлению структуры большими прослойками нестабильного оксида алюминия.

Введение в небольших количествах добавок, которые химически взаимодействуют, как с металлом, так и с керамикой, в значительной мере способствует образованию прочной связи между разными по химической природе частицами.

В наших исследованиях для обеспечения совместимости матрицы с металлическим наполнителем и создания однофазной структуры получаемого композита проводилась активация поверхности глин механической обработкой, термической и химической модификацией. Так как расплав алюминия плохо совмещается с частицами глины, то для улучшения смачиваемости в глину вводили поверхностно активные вещества (ПАВ) в количестве 0,1—1 %. Химическая модификация глин ионами  $Al^{3+}$  из водных растворов и термомеханическая модификация алюминиевой матрицы с одновременным диспергированием позволила увеличить содержание алюминия в композите до 20 %, при этом избежать выделов металлов и разрыхления структуры прослойками нестабильного оксида алюминия, снизить температуру образования жидкой фазы на 80—120°C, а также сместить максимумы на кривых вязкости в область более низких температур.

Процесс спекания протекает с участием жидкой фазы, реагирующей с твердой. Расплавленный алюминий в составе масс способствует увеличению количества и снижению вязкости расплава. Чтобы снизить температуру обжига, в композит вводили добавки оксидов металлов второй группы (оксиды кальция, магния, цинка), которые сдвигают температуру появления расплава и температуру максимума первого экзоэффекта на 50—80°C. При введении оксидов щелочноземельных металлов в глину возрастает скорость кристаллизации муллита. Обогащение расплава ионами  $Al^{+3}$  и  $Ca^{+2}$

приводит к ускорению объемной диффузии и кристаллизационных процессов. Образование алюмосиликатов протекает интенсивно уже при температуре 900°C

Физико-механические свойства получаемых материалов в большой степени зависят от вида адгезионного взаимодействия матрицы и наполнителя. В зависимости от физико-химических свойств отдельных компонентов и механизма образования связей на границе раздела фаз адгезионное взаимодействие можно разделить на три группы. Это механическая адгезия, обусловленная отсутствием химического взаимодействия и образующаяся при механическом сцеплении матрицы и наполнителя; физическая адгезия, обусловленная взаимодействием электронов на атомном уровне; физико-химическая адгезия, определяемая необратимым смачиванием расплавом наполнителя матрицы, их взаимным растворением и последующим образованием химических соединений и твердых растворов.

Так как в предложенном методе получения композиционного материала металлический наполнитель принимает участие в стадиях формирования структуры, то в композите наблюдается как физическая адгезия компонентов, так и химическое взаимодействие матрицы и наполнителя.

Структурные изменения, происходящие в керамических массах в присутствии металлического наполнителя в процессе модификации и термической обработки при получении композита, отражаются на структуре и свойствах получаемого материала. В таблице представлены прочностные характеристики композитов различного состава, полученные при температурах обжига от 900°C до 1300°C.

В процессе спекания композита происходит ряд физических превращений, к которым можно отнести: объёмную диффузию, пластическое течение, поверхностную диффузию и испарение-конденсацию. Так поверхностная диффузия, испарение и конденсация способствует сфероидизации пор, увеличению контактов между частицами, что приводит к упрочнению (но не уплотнению) материала.

Получаемые материалы экономически выгодны, обладают низкой теплопроводностью, повышенной механической прочностью (за счёт свойств металлического наполнителя), малой открытой пористостью (за счёт плотной упаковки частиц при прессовании с оптимальной влажностью и в результате последующих физико-химических процессов, протекающих во время обжига), малой гидрофобностью и пониженной хрупкостью.

## Список литературы:

1. Алфимов С.И., Жуков Р.В., Володченко А.Н., Юрчук Д.В. Техногенное сырье для силикатных материалов гидратационного твердения // Современные наукоемкие технологии. — 2006. — № 2. — С. 59—60.
2. Володченко А.Н., Лесовик В.С., Алфимов С.И., Жуков С.И. Попутные продукты горнодобывающей промышленности в производстве строительных материалов // Современные наукоемкие технологии. — 2005. — № 10. — С. 79—79.
3. Володченко А.Н., Жуков Р.В., Алфимов С.И. Силикатные материалы на основе вскрышных пород Архангельской алмазоносной провинции // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. — 2006. — № 3. — С. 67—70.
4. Володченко, А.Н., Лесовик В.С., Алфимов С.И., Володченко А.А. Регулирование свойств ячеистых силикатных бетонов на основе песчано-глинистых пород // Известия вузов. Строительство. — 2007. — № 10. — С. 4—10.
5. Володченко А.Н., Жуков Р.В., Лесовик В.С., Дороганов Е.А. Оптимизация свойств силикатных материалов на основе известково-песчано-глинистого вяжущего // Строительные материалы. — 2007. — № 4. — С. 66—69.
6. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Повышение эффективности производства автоклавных материалов // Известия вузов. Строительство. — 2008. — № 9. — С. 10—16.
7. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Силикатные автоклавные материалы с использованием нанодисперсного сырья // Строительные материалы. — 2008. — № 11. — С. 42—44.
8. Володченко, А.Н. Особенности взаимодействия магнезиальной глины с гидроксидом кальция при синтезе новообразований и формирование микроструктуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2011. — № 2. — С. 51—55.
9. Ключникова Н.В., Юрьев А.М., Лымарь Е.А. Перспективные композиционные материалы на основе металлической матрицы и неметаллического наполнителя // Успехи современного естествознания. — 2004. — № 2. — С. 69—69.
10. Ключникова Н.В., Лымарь Е.А., Юрьев А.М., Проблемы совместимости керамической матрицы и металлического наполнителя при изготовлении композитов строительного назначения // Строительные материалы. — 2005. — № 11. — С. 54—56.
11. Ключникова Н.В., Лымарь Е.А. Получение металлокомпозиционных материалов // Стекло и керамика. — 2006. — № 2. — С. 33—34.
12. Ключникова Н.В. Взаимодействие между компонентами при изготовлении металлокомпозитов // Фундаментальные исследования. — 2007. — № 12—1. — С. 95—97.

13. Ключникова Н.В. Принципы создания керамометаллического композита на основе глин и металлического алюминия // *Естественные и технические науки*. — 2012. — № 2(58). — С. 450—452.
14. Ключникова Н.В. Термомеханическое совмещение компонентов при создании керамометаллических композитов // *Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции*. — 2012. — Т. 6. — № 2. — С. 65—69.
15. Ключникова Н.В. Изучение взаимодействия между компонентами при создании керамометаллических композиционных материалов // *Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции*. — 2011. — Т. 10. — № 4. — С. 5—8.
16. Ключникова Н.В. Керамометаллические композиционные материалы с высоким содержанием алюминия // *Современные проблемы науки и образования*. — 2011. — № 6. — С. 107—107.
17. Ключникова Н.В. Влияние пористости на свойства керамометаллических композитов // *Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции*. — 2012. — Т. 6. — № 3. — С. 41—45.
18. Лесовик В.С., Володченко А.Н., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистый бетон с использованием попутнодобываемых пород архангельской алмазоносной провинции // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. — 2007. — № 2. — С. 13—18.

**ПОИСК НОВОГО ПРОФИЛЯ  
СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ ПОВЫШЕННОЙ  
КОРРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ  
ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

***Бондарь Виктор Александрович***

*д-р техн. наук, профессор ПолтНТУ,  
г. Полтава*

***Бондарь Людмила Викторовна***

*канд. техн. наук, доцент ПолтНТУ,  
г. Полтава*

***Сушко Владимир Алексеевич***

*ассистент, ПолтНТУ,  
г. Полтава*

*E-mail: [sushko\\_w@mail.ru](mailto:sushko_w@mail.ru)*

**SEARCH FOR A NEW PROFILE  
OF REINFORCEMENT WITH HIGH CORROSION  
RESISTANCE FOR REINFORCE-CONCRETE  
STRUCTURES**

***Viktor Bondar***

*Doctor of Technical Science, Professor of PoltNTU, Poltava*

***Ludmila Bondar***

*Candidate of Technical Science, Associate Professor of PoltNTU, Poltava*

***Vladimir Sushko***

*Assistant of PoltNTU, Poltava*

**АННОТАЦИЯ**

Предлагается новый периодический профиль стальной стержневой арматуры железобетонных конструкций с минимальной площадью боковой поверхности, обеспечивающий повышенную

стойкость к коррозии в условиях мокрой или влажной атмосферной коррозии.

### ABSTRACT

The authors offered a new periodic profile of reinforcement for reinforce-concrete constructions with the minimum area of side. It provides a high resistance to corrosion in wet or damp atmospheric corrosion.

**Ключевые слова:** коррозия; арматура.

**Keywords:** corrosion; reinforcement.

При возведении зданий и сооружений из сборного и монолитного железобетона для армирования конструкций применяется преимущественно стержневой арматурный прокат традиционного периодического профиля.

При разработке новых профилей главное внимание уделяется улучшению механических свойств, сцепления с бетоном, хотя практика показывает, что чаще всего железобетонные конструкции выходят из строя по причине коррозии арматуры.

Известно, что интенсивное коррозионное разрушение арматуры может вызвать периодическое увлажнение железобетонной конструкции. При этом образуется устойчивая влажностная оболочка из насыщенного влагой бетона вокруг поверхности арматуры. Причем над гребнями арматуры периодического профиля толщина такой оболочки меньше, чем между ними.

Таким образом, толщина диффузионного слоя для основного деполяризатора кислорода при электрохимической коррозии будет разной над гребнями и между ними, что приводит к образованию макрокоррозионных пар дифференциальной аэрации с анодами на гребнях арматуры и катодами между ними.

Вскрытие арматуры железобетонных конструкций, которые эксплуатируются в условиях попеременного увлажнения, подтверждает данное предположение: поверхность применяемой арматуры периодического профиля сглаживается со временем, теряя свое сечение.

При очередном подсыхании влажная оболочка вокруг арматурного стержня по энергетическим соображениям будет стремиться сократить свою поверхность до минимума, образуя поверхность, показанную на рис. 1.

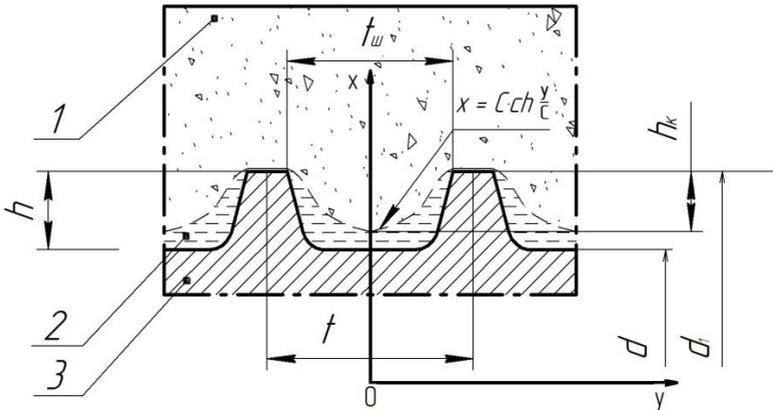
Аналитически получено уравнение образующей такой поверхности:

$$x = C \cdot ch \frac{y}{c},$$

где:  $x, y$  — текущие параметры кривой;  
 $C$  — постоянная профиля.

На арматуре периодического профиля эта поверхность образуется при  $h-h_k > 0$  (рис. 1), где  $h_k$  определяется из уравнения образующей при  $y=0$ :

$$h_k \Big|_{y=0} = C$$



**Рисунок 1. Схема образования устойчивой оболочки на поверхности арматуры периодического профиля:  $h$  — высота выступов периодического профиля;  $t$  — шаг витков;  $d_1$  — диаметр арматуры по гребням;  $d$  — то же между витками; 1 — бетон защитного слоя; 2 — влажная оболочка; 3 — арматура**

Таким образом, образование оболочки минимальной поверхности при закреплении ее на выступах арматуры периодического профиля будет при условии  $h-C > 0$ . Значения  $h-C$  для различных профилей приведены в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Значение  $h - C$  для различных профилей арматуры**

<b>№ профиля</b>	<b><math>h - C</math></b>	<b>№ профиля</b>	<b><math>h - C</math></b>
6	-1,11	22	0,48
8	-0,22	25	0,52
10	-0,5	28	0,86
12	-0,005	32	0,82
14	0,1	36	0,94
16	0,3	40	1,03
18	0,42	45	1,05
20	0,42	50	1,16

Непрерывная устойчивая влажная оболочка образуется на поверхности арматурного профиля № 14 и выше. Так как ( $h - C$ ) для профилей № 6—12 имеет отрицательное значение, энергетически устойчивая оболочка может закрепляться одной стороной на вершине выступа, другой - между ними.

Оболочка имеет вогнутый вид, а вектор поверхностного натяжения у мест ее закрепления направлен внутрь поверхности, что способствует утончению оболочки у мест ее закрепления, то есть на вершинах выступов для № 14—50 и на вершинах выступов и посередине между смежными выступами для № 6—12. Эти явления в значительной степени определяют кинетику коррозионных процессов на поверхности арматуры: утончение пленки приводит к большей доступности металла арматуры для деполяризатора, следовательно, к более интенсивной коррозии, утолщение — к торможению процесса коррозии, то есть образуются макрогальванические пары дифференциальной аэрации. Данное предположение было проверено экспериментально на арматуре без бетонного покрытия.

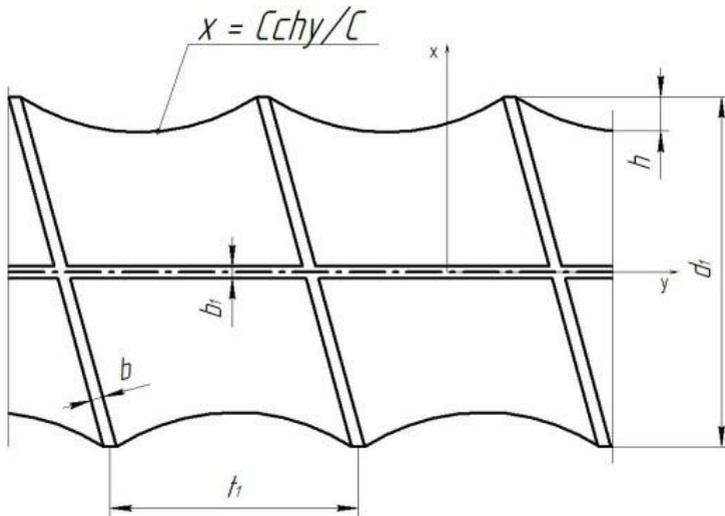
В качестве образцов принята арматурная сталь периодического профиля № 14 по ГОСТ 5781-82 в виде отдельных стержней длиной 400 мм каждый. Уже через двое суток испытаний после попеременного увлажнения их в 3-х процентном растворе хлористого натрия и высушивания замечен неравномерный характер коррозии на поверхности арматуры. Активные коррозионные процессы

начинаются на вершинах выступов, что подтверждает допущение о неравномерности покрытия пленкой влаги поверхности арматуры.

С некоторым приближением можно считать, что аналогичная кинетика коррозионных процессов будет наблюдаться и на арматуре под бетонным покрытием в условиях влажностной или мокрой атмосферной коррозии.

Таким образом, избежать образования макрокоррозионных пар при электрохимической коррозии возможно, исключив образование неравномерной пленки на поверхности арматуры.

Этим требованиям будет отвечать арматурный стержень периодического профиля, в котором впадины между гребнями выполнены по кривой  $x = C \cdot ch \frac{y}{c}$ , которая является образующей фигуры с наименьшей боковой поверхностью (рис. 2).

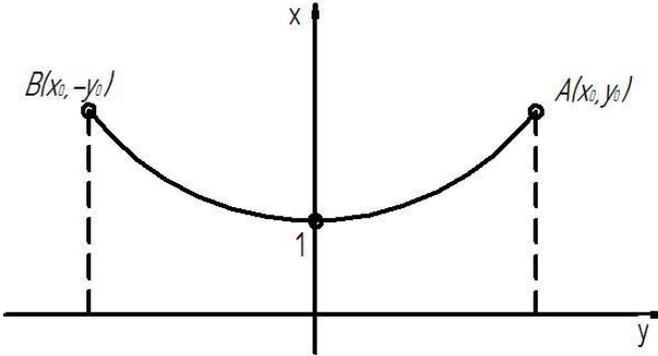


**Рисунок 2. Арматурный стержень периодического профиля:**  
 $d_1$  — наружный диаметр;  $t_1$ ,  $h$ ,  $b$  — шаг, высота, ширина гребней;  
 $b_1$  — толщина продольного ребра.

Вращая образующую  $x = C \cdot ch \frac{y}{c}$  вокруг оси  $y$ , получим минимальную площадь боковой поверхности фигуры вращения [2].

Для построения арматурных профилей на этом принципе необходимо иметь значение постоянной  $C$ . Для этого достаточно задать известные координаты, например, точки А (рис. 3) в формулу образующей

$$x_0 = C \cdot ch \frac{y_0}{c} \quad (1)$$



**Рисунок 3. Общий вид кривой  $x = C \cdot ch \frac{y}{c}$ :  $A(y_0, x_0)$ ,  $B(-y_0, x_0)$  — некоторые фиксированные точки на кривой**

Если обозначить  $x=y_0/c$ ,  $a=x_0/y_0$ , то уравнение (1) примет вид:

$$ax = chx \quad (2)$$

Решение уравнения (2) находим на пересечении линии  $y=ax$  и кривой  $y=chx$ . Задаваясь различными значениями  $a$  и вычислив значения  $chx$  при различных значениях  $x$ , находим минимальное значение функции

$$y = chx - ax \rightarrow 0$$

Для случая касания линии  $y=ax$  и кривой  $y=chx$  выбрано значение  $a=1,573$  при  $x=1,5$ . Если принять, что фиксированной точкой А будет вершина гребня арматурного профиля с координатами  $(\frac{t_1-b}{2}, \frac{d_1}{2})$ , то

$$C = \frac{t_1-b}{2 \cdot 1,5} \quad (3)$$

Так как  $a=d_1/t_1 - b$ , формула для определения  $t_1$  имеет вид:

$$t_1 = d_1/1,573 + b \quad (4)$$

Уравнение образующей может быть выражено формулой

$$x = \frac{(t_1-b)}{3} ch \frac{3y}{(t_1-b)}. \quad (5)$$

Для определения боковой поверхности, массы стержня выведены расчетные формулы. Подставив в формулу для определения поверхности фигур вращения [3]  $S = 2\pi \int_a^b f(y)\sqrt{1+f'(y)} dy$ , функцию  $x = C \cdot ch \frac{y}{c}$ , получим  $S = 2\pi \int_0^{t_1/2} C \cdot ch \frac{y}{c} \sqrt{1 + Sh^2 \frac{y}{c}} dy$ .

Тогда площадь поверхности тела вращения на один шаг гребней:

$$S \Big|_{y=t_1} = \pi C \left( t_1 + C \cdot sh \frac{t_1}{c} \right), \text{ на один погонный метр}$$

$$S_{\text{в.п.}} = \pi C \left( t_1 + C \cdot sh \frac{t_1}{c} \right) \cdot \frac{1000}{t_1}. \quad (6)$$

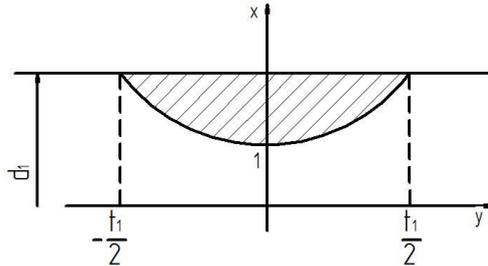
Известная формула для определения объема тел вращения  $V = \pi \int_a^b f^2(x) dx$  послужила основой для расчета массы одного погонного метра.

$$Q_{\text{п.м.в.п.}} = \frac{C^2 \pi}{2} \left( t_1 + C \cdot ch \frac{t_1}{2} \right) \cdot \frac{7,85 \cdot 1000}{t_1}. \quad (7)$$

Площадь поверхности продольных (рис.5) между смежными ребрами арматурного стержня можно рассчитывать по формуле:

$S_p = 2 \int_0^{t_1/2} \left( \frac{d_1}{2} - C \cdot ch \frac{y}{c} \right) dx = \frac{t_1 d_1}{2} - 2C^2 sh \frac{y}{2C}$ , на один погонный метр

$$S_{\text{р.п.м.}} = \left( \frac{t_1 d_1}{2} - 2C^2 ch \frac{y}{2C} \right) \cdot \frac{1000}{t_1}. \quad (8)$$



**Рисунок 4. Схема для расчета поверхности продольного ребра (определяется заштрихованная площадь)**

Масса продольных ребер на один погонный метр арматурного стержня

$$Q_{p.p.m.} = 2S_{p.p.m.} \cdot b_1 \cdot 7,85 \quad (9)$$

Методику определения геометрических параметров и некоторых характеристик данных арматурных стержней проиллюстрируем на примерах.

Пример 1. Дано:  $d_1=42,4$  мм;  $b=2$  мм;  $b_1=2,5$  мм, гребни выполнены по однозаходной винтовой линии. Пользуясь уравнениями (3—5), получим:  $t_1=29$  мм,  $C=9$ , уравнение образующей поверхности между гребнями  $= 9 \cdot ch \frac{y}{9}$ .

Минимальный размер сечения стержня будет при  $y = \frac{1}{4}(t_1 - b) + 1 = 7,75$  мм, максимальный — при  $y = \frac{1}{2}t_1 - b = \frac{29}{2} - 2 = 12,5$  мм.

Вычисленные по формуле (5) эти параметры составили, соответственно: 25,1 и 30,2 мм. Площадь поперечного сечения стержня с учетом сечения продольного ребра  $625,5 \text{ мм}^2$ .

Таким образом, данный стержень можно считать равнопрочным обычному стержню периодического профиля с номинальным диаметром  $d=28$  мм.

Эффективность сцепления арматурного профиля с бетоном характеризуется параметром  $\gamma_{сц} = 4k_{ок} \cdot \frac{h_{ср}}{t_1}$ .

В нашем случае коэффициент охвата  $k_{ок} = 1 - \frac{\sum l_{ок}}{\pi d} = 1 - \frac{2 \cdot 2,5}{3,14 \cdot 28} = 0,94$ .

Средняя глубина впадин  $h_{ср} = \frac{d_1 - d}{2} = \frac{42,4 - 28}{2} = 7,1$ .

Тогда  $\gamma_{сц} = 4 \cdot 0,94 \cdot \frac{7,1}{29} = 0,92$ .

Относительная площадь среза бетона между выступами

$\gamma_{ср} = 4K_{ок} \left(1 - \frac{b}{t_1}\right) = 4 \cdot 0,94 \left(1 - \frac{2}{29}\right) = 3,5$ .

Отношение площади среза к площади смятия  $\frac{F_{ср}}{F_{см}} \approx \frac{t_1 - b}{h_{ср}} =$

$$\frac{29 - 2}{7,1} = 3,8.$$

Соотношение между высотой выступов и номинальным диаметром стержня арматуры  $\frac{h_{ср}}{d_n} = \frac{7,1}{28} = 0,25$ . Отношение  $h/t = 7,1/29 = 0,24$ .

Площадь поверхности впадин и продольных ребер на один погонный метр

$$S = 3,14 \cdot 9 \left( 29 + 9sh \frac{29}{9} \right) \cdot \frac{1000}{29} + \left( 2 \cdot \frac{27}{2} \cdot \frac{42,4}{2} - 2 \cdot 9^2 sh \frac{27}{2 \cdot 9} \right) \cdot \frac{1000}{27} \cdot 2 = 154740 \text{ мм}^2$$

Масса одного погонного метра стержня:

$$Q = \frac{\pi \cdot 9^2}{2} \left[ 29 + 9 \left( \frac{e^{29/9} - e^{-29/9}}{2} \right) \right] \cdot \frac{7,85 \cdot 10^3}{10^9 \cdot 0,029} + 41644,4 \cdot \frac{7,85}{10^6} = 5,19 \text{ кг.}$$

Пример 2. Дано:  $d_l=21,2$  мм;  $b=1$  мм;  $b_l=2$  мм, гребни выполнены по однозаходной винтовой линии. Аналогично вычислены значения для данного профиля:  $t_l=13,5$  мм;  $C=4,5$ ;  $x = 4,5ch \frac{y}{4,5}$ ; номинальный диаметр равнопрочного стержня  $d=14$  мм.

Площадь поверхности впадин и продольных ребер на один метр погонный:

$$S = 3,14 \cdot 4,5 \left( 14,5 + 4,5sh \frac{14,5}{4,5} \right) \frac{1000}{14,5} = 69041 \text{ мм}^2.$$

Масса одного погонного метра стержня:

$$Q = \frac{V \cdot 7,85 \cdot 10^3}{10^9 \cdot 0,0145} = 1,22 \text{ кг.}$$

Параметры арматурных стержней приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Параметры арматурных стержней по ГОСТ 5781-82  
и предлагаемых

Арматурный стержень	$d_n$ , мм	$t_1$ , мм	$K_{ок}$	$\gamma_{см}$	$\gamma_{ср}$			$\frac{h}{t_1}$	S, м <sup>2</sup> /пог.м.	Q, кг/пог.м.
ГОСТ 5781-82	28	9	0,94	0,83	3,1	3,7	0,07	0,22	0,12	4,83
Предлагаемый стержень	28	29	0,94	0,92	3,5	3,8	0,25	0,24	0,15	5,19
ГОСТ 5781-82	14	7	0,9	0,65	3,1	4,8	0,1	0,18	0,044	1,21
Предлагаемый стержень	14	14,5	0,91	0,97	3,3	3,7	0,26	0,22	0,069	1,22
Рекомендуемые значения [4]				0,6-0,8	$\geq 3$	$< 10$	0,1-0,05	0,25		

Основные показатели предлагаемого арматурного стержня отвечают рекомендуемым значениям или близким к ним. Увеличение радиуса кривизны перехода гребня к стержню и расстояния между гребнями повышает его выносливость. Разрежение гребней улучшает анкерочные свойства арматуры. Профиль обеспечивает минимальное значение свободной энергии системы «жидкая оболочка — металл», что исключает образование жидкостных манжет, а следовательно, образование локальных очагов коррозии арматуры.

**Список литературы:**

1. ГОСТ 5781-82 Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. — М.: ГГТИ, 1954. — 340 с.
3. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. — М.: Стройиздат, 1974. — 394 с.
4. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление. — М.: Наука, 1985. — 412 с.

## СЕКЦИЯ 4.

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

#### АГЛОМЕРАЦИЯ ФОСФОГИПСА В ПРИСУТСТВИИ ОТХОДОВ ДОБЫЧИ ЛЕНГЕРСКИХ УГЛЕЙ И ШУБАРКОЛЬСКОГО УГЛЯ

*Ерубай Арман Аппазулы*

*Ph.D докторант, Южно-Казахстанский государственный  
университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан*

*E-mail: [erubai@mail.ru](mailto:erubai@mail.ru)*

*Шевко Виктор Михайлович*

*д-р техн. наук, профессор Южно-Казахстанский государственный  
университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан*

*E-mail: [vm\\_shevko@mail.ru](mailto:vm_shevko@mail.ru)*

#### AGGLOMERATION OF PHOSPHOGYPSUM IN THE PRESENCE OF A WASTE OF EXTRACTION OF LINGER COALS AND SHUBARKOL COAL

*Arman Erubay*

*PhD student of M. Auezov South Kazakhstan state university,  
Shymkent, Kazakhstan*

*Victor Shevko*

*Dr. Eng.Sciences, professor of M. Auezov South Kazakhstan state  
university, Shymkent, Kazakhstan*

#### АННОТАЦИЯ

В данной работе приведены результаты исследований по получению агломерата из фосфогипса в присутствии отходов добычи бурых углей. Для определения оптимальных параметров агломерации фосфогипса проводилась методика планирования

экспериментов с использованием рототабельных планов второго порядка. Используя полученные уравнения нами были построены поверхности откликов и их горизонтальные сечения. Приведены результаты влияния Шубаркольского угля и отходов добычи Ленгерского на содержание серы и статистической прочности агломерированного фосфогипса.

#### **ABSTRACT**

In the given work results of researches on receiving agglomerate from phosphogypsum in the presence of a waste of extraction of brown coals are presented. For definition of optimum parameters of phosphogypsum agglomeration it was conducted by a method of planning of experiments with use of rotatable plans of the second order. Using the received equations surfaces of responses and their horizontal sections have been constructed. Results of influence of Shubarkolsky coal and a waste of extraction of Lengersky on the containing of sulphur and statistical durability agglomerated of phosphogypsum are resulted.

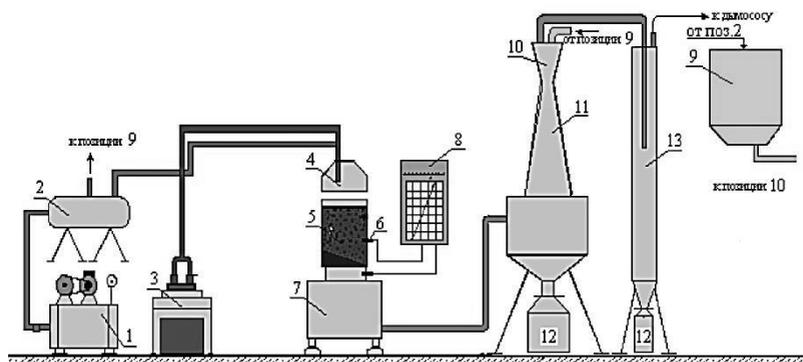
**Ключевые слова:** агломерация; фосфогипс.

**Keywords:** agglomeration; phosphogypsum

В химической, горной, добывающей, металлургической промышленности образуется большое количество твердых отходов. Одним из наиболее многотоннажных отходов химической промышленности является фосфогипс — отход производства фосфорной кислоты. Так, только на ТОО «Казфосфат» в настоящее время в отвалах находится  $\approx 8$  млн. т фосфогипса. Несмотря на достаточно большое число работ в области переработки фосфогипса [1, 3], основная его часть вывозится в отвалы, загрязняя окружающую среду. В данной работе приводятся результаты исследований по получению агломерата из фосфогипса в присутствии отходов добычи бурых углей.

Исследования проводили на установке, схема которой приведена на рисунке 1. Основным технологическим агрегатом установки является агломерационный цилиндр внутренним диаметром 15 см и общей высотой 20 см. В нижней части цилиндра (на расстоянии 0,5 см от кромки) была установлена колосниковая решетка с отверстиями диаметром 0,4 см. Для розжига шихты установка была снабжена бензиновой горелкой. Для контроля температуры агломерации, в середине и в нижней части цилиндра имелись отверстия для ввода термопар ВР — 5—20. Разрежение под колосниковой решеткой измерялось при помощи вакуумметра. Технологические газы отсасывались из цилиндра при помощи

вентилятора. Очистка газов от пыли производилась в скруббере с трубой Вентури. Перед проведением опытов исходные материалы размалывались в шаровой мельнице до фракции <math>< 1\text{ мм}</math>. Затем они перемешивались и окомковывались на чашевом грануляторе диаметром 50 см и высотой борта 15 см, до фракции 3—10 мм. При грануляции в качестве связующего использовали воду.



**Рисунок 1. Схема укрупненно-лабораторной агломерационной установки**

- 1 — компрессор; 2 — распределитель; 3 — топливный аппарат;  
4 — зажигательный горн; 5 — агломерационный цилиндр;  
6 — термометры; 7 — вакуумметр; 8 — КСП-4;  
9 — емкость для воды; 10 — труба «Вентури»;  
11 — скруббер; 12 — приемник для шлама;  
13 — каплеуловитель**

Скорость вращения чаши гранулятора составляла 25 об/мин. «Сырые» гранулы укладывались на постель из обожженного фосфогипса высотой 10—12 мм, находящейся на колосниковой решетке. Затем, в течение 5—7 минут происходил розжиг печи. После этого горелка отключалось и в течение 12—15 минут происходило слоевое горение шихты с удалением  $\text{SO}_2$  содержащих газов и формированием агломерата. Об окончании слоевого горения судили по неизменности температуры отходящих газов. После охлаждения агломерата в течение 30 минут, агломерат извлекался из цилиндра и анализировался на статистическую прочность, содержание серы. Определение прочности гранул агломерата проводилось в соответ-

ствии с ГОСТом 21560.2-82. Статистическая прочность агломерата рассчитывалась в соответствии с [5] по формуле:

$$P = F \times g / S, [\text{Н/см}^2] \quad (1)$$

где: F — показания весов, кг;

g — ускорение свободного падения,  $\approx 9,8 \text{ м/с}^2$

S — площадь сечения гранулы,  $\text{см}^2$  (для сферической гранулы  $S = \pi \times R^2$ )

r — радиус гранулы, см.

Определения оптимальных параметров агломерации фосфогипса проводилась методом планирования экспериментов с использованием ротatableльных планов второго порядка [2]. В качестве независимых факторов использовали количество угля Шубаркольского месторождения % от массы фосфогипса (натуральное обозначение — ШУ, кодированное обозначение —  $X_1$ ) и количество отходов добычи угля Ленгерского месторождения, % от массы фосфогипса (натуральное обозначение — ЛО, кодированное обозначение —  $X_2$ ). В качестве независимых параметров оптимизации являлись прочность (Pr,  $\text{Н/см}^2$ ) и содержание серы, (S, %).

Уровни факторов и интервалы их варьирования приведены в таблице 1 а в таблице 2 план проведения экспериментов и их результаты.

*Таблица 1.*

**Уровни факторов и интервалы их варьирования**

<b>Переменные</b>	<b>ШУ, % (<math>X_1</math>)</b>	<b>ЛО, % (<math>X_2</math>)</b>
Основной уровень (0)	21,0	18
Интервал варьирования ( $\Delta$ )	4,9	12,5
Верхний уровень (+1)	25,9	30,5
Нижний уровень (-1)	16,1	5,5
Верхнее «звездное» плечо (+1,414)	28,0	36,0
Нижнее 2 звездное» плечо (-1,414)	14,0	0

Таблица 2.

**Матрица планирования и результаты опытов  
по агломерации фосфогипса**

№ опыта	Переменные				Статистическая прочность, Н/см <sup>2</sup>		Содержание серы, %	
	Кодированный вид		Натуральный вид					
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	ШУ, %	ЛО, %	Пр экс.	Пр расч.	S экс.	S расч.
1	—1	—1	16,1	5,5	360	358,00	0,49	0,390
2	+1	—1	25,9	5,5	175	192,38	1,06	0,997
3	—1	+1	16,1	30,5	310	307,61	0,24	0,250
4	+1	+1	25,9	30,5	170	186,99	0,54	0,553
5	+1,414	0	28,0	18,0	90	68,79	0,84	0,862
6	—1,414	0	14,0	18,0	268	271,20	0,18	0,214
7	0	+1,414	21,0	36,0	340	332,78	0,37	0,345
8	0	—1,414	21,0	0	358	372,22	0,68	0,762
9	0	0	21,0	18,0	375	364,20	0,40	0,382
10	0	0	21,0	18,0	363	364,20	0,39	0,382
11	0	0	21,0	18,0	365	364,20	0,37	0,382
12	0	0	21,0	18,0	368	364,20	0,38	0,382
13	0	0	21,0	18,0	350	364,20	0,41	0,382

На рисунке 2 приведена информация о внешнем виде спеченных агломератов и их разломы. Из рисунка 2 следует, что полученные агломераты сцементированы довольно равномерно жидкой фазой.



**Рисунок 2. Внешний вид спеченных агломератов и их разломы**

Используя программу [4] установили, что уравнения регрессии в кодированном виде влияния угля Шубаркольского месторождения и отход добычи Ленгерских углей на прочность и содержание серы имеют вид:

$$Pr_{(код)} = 364,2 - 71,56 \cdot X_1 - 13,56 \cdot X_2 - 97,1 \cdot X_1^2 - 5,85 \cdot X_2^2 - 11,25 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (2)$$

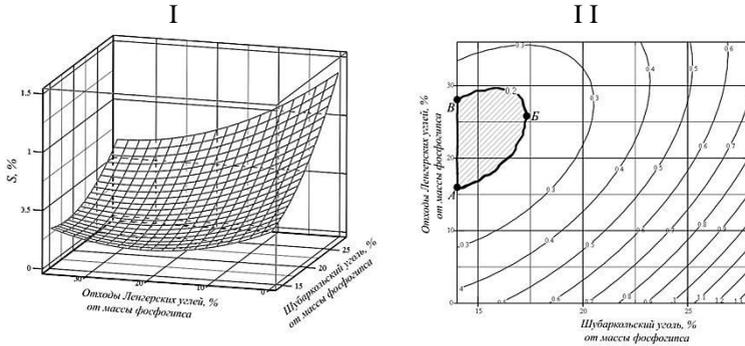
$$S_{(код)} = 0,382 + 0,229 \cdot X_1 - 0,147 \cdot X_2 + 0,078 \cdot X_1^2 + 0,086 \cdot X_2^2 - 0,075 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (3)$$

В нашем случае табличный критерий Фишера составляет 6,59, а расчетные значения критерия Фишера для уравнений регрессий прочности составляет 4,7842; для уравнений содержания серы — 6,5659. То есть для всех уравнений  $F_{табл.} > F_{расч.}$ . Таким образом уравнения регрессии является адекватными.

Используя полученные уравнения нами были построены поверхности откликов и их горизонтальные сечения (рисунки 3—4).

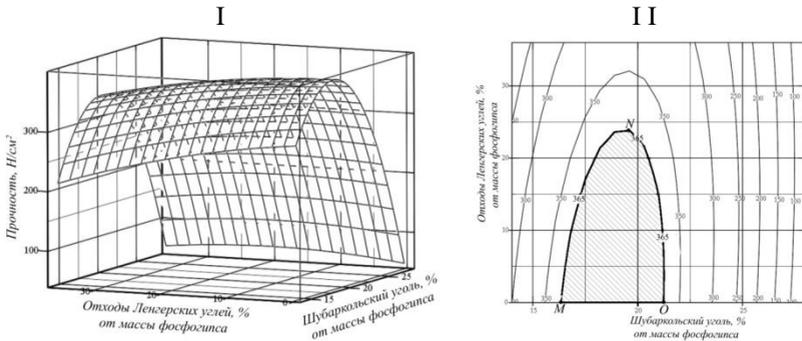
На рисунке 3 приведена информация о влиянии Шубаркольского угля и отходов добычи Ленгерского угля на содержание серы в агломерированном фосфогипсе из которого следует, что при постоянном содержании ЛО увеличение ШУ приводит к возрастанию содержания серы, а при постоянном количестве ШУ увеличение количества ЛО приводит к уменьшению S. Причем минимальное содержание серы  $\leq 0,2\%$  наблюдается в области АБВ, то есть в интервале ШУ от 14 до 17 % и ЛО — от 17,5 до 27 %. Необходимо отметить, что степень десульфуризации фосфогипса в области ограниченной фигурой АБВ составила 95—95,8 %.

Влияние углеродсодержащих материалов на статистическую прочность агломерированного фосфогипса показано на рисунке 4, из которого следует, что форма поверхности отклика (прочность) носит седлообразный характер с максимумом прочности ( $365 \text{ Н/см}^2$ ) в области, описываемой плоскостью MNO, то есть изменение количества ШУ от 16,9 % до 21,3 % и ЛО от 0 до 21 %.



**Рисунок 3. Влияние количества Шубаркольского угля на содержание серы в агломерированном фосфогипсе и степень десульфурации**

**Цифры на линиях — содержание серы, %, I — объемная форма поверхности отклика. II — горизонтальные разрезы поверхности отклика**



**Рисунок 8. Влияние количества Шубаркольского угля и отходов добычи Ленгерского угля на статистическую прочность агломерированного фосфогипса**

**Цифры на линиях — статистическая плотность, Н/см<sup>2</sup>, I — объемная форма поверхности отклика. II — горизонтальные разрезы поверхности отклика**

Для последующей переработки агломерированного фосфогипса электроплавкой с получением ферросиликокальция. Рекомендуется состав шихты, пределы которого находится в плоскости АБВ.

При этом содержание  $S$  в агломерате составляет не более 0,2 %, а прочность агломерата 250—350 Н/см<sup>2</sup>.

### **Список литературы:**

1. Ахмедов М.А., Атакузиев Т.А. Фосфогипс. Исследование и применение: учеб. пособие. Ташкент. Фан, 1980 — 80 с.
2. Ахназаров С.А., Кафаров Б.В. Методы оптимизации эксперимента в химической промышленности: учеб. пособие. М.: Высшая школа. 1978 — 319 с.
3. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Промышленная переработка фосфогипса: учеб. пособие. СПб.: Стройиздат, 2007 — 104 с.
4. Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентов и инженеров: учеб. пособие. СПб.: ВHV-Петербург, 2007 — 368 с.
5. Удобрения минеральные. Метод определения статической прочности гранул Изменение № 2 к ГОСТ 21560.2-82 от 01.04.2001.

## **ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЙ ПОЛИМЕРОВ**

***Каптелева Альбина Олеговна***

*магистрант Казанского национального исследовательского  
технологического университета, г. Казань  
E-mail: [albina-kapteleva@mail.ru](mailto:albina-kapteleva@mail.ru)*

***Пилипенко Алексей Валерьевич***

*аспирант Казанского национального исследовательского  
технологического университета, г. Казань  
E-mail: [plexkazan@mail.ru](mailto:plexkazan@mail.ru)*

***Зиганшина Майя Рашидовна***

*канд. хим. наук, доцент Казанского национального  
исследовательского технологического университета, г. Казань  
E-mail: [zigmay4@mail.ru](mailto:zigmay4@mail.ru)*

## **COATINGS BASED ON AQUEOUS POLYMER DISPERSIONS**

***Albina Kapteleva***

*Master of the Kazan National Research Technological University, Kazan*

***Alexey Pilipenko***

*Postgraduate of the Kazan National Research Technological University,  
Kazan*

***Maya Ziganshina***

*Candidate of chemical sciences, Associate Professor of the Kazan National  
Research Technological University, Kazan*

### **АННОТАЦИЯ**

Актуальны исследования, направленные на разработку менее токсичных соединений, обеспечивающих высокие защитные свойства грунтовочных покрытий. Перспективны для изучения композиционные материалы на основе водных дисперсий. Они более стойкие и долговечные, соответствуют современным требованиям. В качестве

пленкообразующего вещества в работе использовали водную стирол-акрилатную дисперсию — Лакротэн Э-241. Покрытия на основе синтезированного пигмента сравнивались с другими покрытиями, имеющими в составе другие компоненты. Полученные результаты характеризуют наши разработки с хорошей стороны.

#### **ABSTRACT**

Relevant research to develop less toxic compounds, providing high protective properties undercoats. Perspective for the study of composite materials based on aqueous dispersions. They are more resistant and durable, to-date. As a film-forming agent used in aqueous dispersion of styrene-acrylate — Lakrotен E-241. Coatings based on synthesized pigment compared to other coatings which have in the other components. These results describe our development on the good side.

**Ключевые слова:** защитные покрытия; пигмент; манганит кальция; лакротен

**Keywords:** protective coating; pigment; calcium manganite; lakrotен

В последние десятилетия во всех промышленно развитых странах в связи, с возрастающими требованиями к охране среды и безопасности труда людей, сохраняется устойчивая тенденция роста выпуска и применения композиционных материалов на основе водных дисперсий полимеров. Водные лакокрасочные материалы лидируют в списке экологически благоприятных систем, обладая низким содержанием летучих органических соединений, малой токсичностью и пожаробезопасностью. Они более выгодны с экономической точки зрения, легко наносятся. Покрытия на основе водных дисперсий полимеров более стойкие и долговечные, соответствуют самым высоким современным требованиям. Преимущества водных лакокрасочных материалов способствовали тому, что в развитых странах они опередили, по объемам потребления, все прочие виды лакокрасочной продукции. Прежде всего, это касается строительной индустрии, в которой потребление водных лакокрасочных материалов превышает 70—80 % от общего объема лакокрасочных материалов. Именно этот сегмент рынка в последнее время характеризуется наибольшими темпами роста, в том числе и на российском рынке, в частности отмечается увеличение потребления декоративных водных лакокрасочных материалов в структуре спроса [1, с. 138]. В связи с этим весьма актуальны исследования, направленные на разработку менее токсичных соединений, обеспечивающих высокие защитные свойства грунтовочных покрытий. В качестве пленкообразующего

вещества в работе использовали широко используемый в лакокрасочной промышленности водная стирол-акрилатная дисперсия отечественного производства — Лакротэн Э-241, которая, как показали предварительные исследования, оптимально пригодна в противокоррозионных грунтовках. В качестве противокоррозионного пигмента был использован манганит кальция, полученного керамическим способом, показавший хорошие ингибирующие свойства [2]. Свойства полученного пигмента представлены в таблице 1.

*Таблица 1.*

**Свойства пигмента манганат (IV) кальция**

<b>Свойства</b>	
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3,9
Маслоёмкость I рода, г/100г	21
Содержание водорастворимых веществ, %	0,2
pH водной вытяжки	8,03

Так как к основным факторам, способствующим протеканию коррозионных процессов под покрытием, относится воздействие влаги, содержащей электролиты, особое внимание следует уделять уровню изолирующей способности лакокрасочной пленки [3, с. 112].

Были приготовлены композиции на основе Лакротэн Э241 объемное содержание пигмента, в которых изменяли от 2 до 12об %. Приготовленные образцы краски наносили на пластинки из стали 08кп. размером 70x150x1 мм методом пневмораспыления, толщина высохшей пленки 70±5 мкм. Для исследования барьерных и ингибирующих свойств покрытий на основе синтезированного пигмента были использованы результаты значения электрической емкости системы окрашенный металл-электролит (С) и установившегося коррозионного потенциала (Е) стали 08 кп под покрытием, а также визуальной оценки состояния образцов, через 1000 ч воздействия на окрашенную сталь 3 %-го водного раствора хлорида натрия [4, с. 517].

При электрохимических испытаниях использовали двух электродную ячейку. Ее готовили наклеиванием на образец с покрытием полого стеклянного цилиндра с внутренним диаметром 3 см. Рабочими электродами служил участок стали с покрытием, образующий дно стакана с площадью 7,07 см<sup>2</sup>, и параллельно расположенная платиновая пластинка. В образующуюся ячейку заливали 20 мл электролита. Данная система рассматривается как общий конденсатор

с потерями, обкладкой которого служит стальная подложка и электролит, а диэлектрической прокладкой лакокрасочное покрытие.

Используя переменно-токовый метод исследования, определяли электрохимическую емкость (С) при частоте 1 кГц на измерители иммитанса Е7-21. С помощью потенциометра рН-340 получали зависимости неравновесного электродного потенциала стали с ЛКП от продолжительности коррозионных испытаний.

Результаты сравнительной комплексной оценки экспериментальных пигментированных покрытий и покрытия с содержанием ТОХЦ (тетраоксихромат цинка) представлены в таблице 2.

*Таблица 2.*

**Комплексная оценка покрытия и металла под ним после 1000 часов испытаний**

ОСП, %	С, нФ	Е, мВ	площадь пузырей, %	Площадь коррозии, %	Адгезия, балл	
					до опыта	после опыта
2	0,26	284	0	0	1	1
4	0,53	117				
6	0,34	147				
8	0,70	373				
10	1,12	342				
12	3,44	-119		5		
непигментированное покрытие						
0	3,96	-210	0	5	1	1
ТОХЦ						
4—7	1,2— 1,68	134— 195	0	0	1	1
8	3,20	-117		1		

**Выводы**

Судя по результатам (малое значение емкости и положительное значение неравновесного электродного потенциала) можно сделать вывод о том, что композиционные полимерные материалы на основе синтезированного пигмента по противокоррозионной эффективности не уступают, а в некоторых случаях превосходят ТОХЦ (применение которого во многих странах законодательно ограничено).

### **Список литературы:**

1. Беленький Е.Ф., Рискин И.В. Химия и технология пигментов. — Л.: Химия, 1974. — 656 с.
2. Зиганшина М.Р. Противокоррозионные свойства покрытий, пигментированных соединениями марганца / 5-я Международная научно-практическая конференция. Современные тенденции в производстве лакокрасочных материалов. — Москва, 2007 г.
3. Розенфельд И.Л., Рубенштейн Ф.И., Жигалова К.А. защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями, — М.: Химия, 1987. — 224 с.
4. Olaf Luckert, Pigment [und] Fullstoff Hptb.,5, [Hauptband], — Laatzten, 1994. — 639 с.

## **СЕКЦИЯ 5.**

# **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ**

### **КЕТЧУПЫ НА ОСНОВЕ ТЫКВЫ**

***Коростылева Людмила Алексеевна***

*доцент, канд. техн. наук, Школа экономики и менеджмента  
Дальневосточного Федерального университета,  
г. Владивосток*

*E-mail: [tamar\\_par@mail.ru](mailto:tamar_par@mail.ru)*

***Текутьева Людмила Александровна***

*доцент, канд. техн. наук, Школа экономики и менеджмента  
Дальневосточного Федерального университета,  
г. Владивосток*

*E-mail: [lat777@mail.ru](mailto:lat777@mail.ru)*

***Мухортов Сергей Алексеевич***

*доцент, канд. мед. наук,  
Алтайский государственный медицинский университет,  
г. Барнаул*

*E-mail: [altbuket@gmail.com](mailto:altbuket@gmail.com)*

***Алексеев Николай Николаевич***

*директор по стратегическому развитию  
ООО «Научно-производственная фирма «Алтайский букет»,  
г. Барнаул*

*E-mail: [siblife2010@mail.ru](mailto:siblife2010@mail.ru)*

## KETCHUPS ON THE BASIS OF PUMPKIN

***Liudmila Korostyleva***

*Associate Professor, Candidate of technical sciences  
School of Economics and Management, Far Eastern Federal University,  
Vladivotok*

***Liudmila Tekutieva***

*Associate Professor, Candidate of technical sciences  
School of Economics and Management, Far Eastern Federal University,  
Vladivotok*

***Sergey Muhortov***

*Associate Professor, Candidate of medical science  
Altai State Medical University, Barnaul*

***Nikolay Alekseev***

*Strategic development director of Research and Production Company  
'Altaiskiy buket', Barnaul*

### АННОТАЦИЯ

Разработаны новые кетчупы на основе тыквенного пюре и облепихи, сладкие и острые, которые могут успешно конкурировать с традиционными томатными. Они обладают высокими органолептическими показателями и повышенной биологической ценностью.

### ABSTRACT

There are developed new ketchups on the basis of pumpkin squash and sea-buckthorn, sweet and spicy, which can successfully compete with the traditional tomato ones. They are high at their organoleptic qualities and bioavailability.

**Ключевые слова:** кетчупы; здоровое питание; тыква; облепиха; тыквенные кетчупы; товароведная оценка; безопасность.

**Key words:** ketchups; healthy nutrition; pumpkin; sea-buckthorn; pumpkin ketchup; merchandiser's evaluation; reliability.

Слово «кетчуп» появилось в обиходе так давно, что филологи даже затрудняются сказать точно, что оно значит. Скорее всего, заимствованное из китайского диалекта, оно обозначало маринады, используемые для засолки рыбы. Эта приправа, завезенная моряками в Европу из Малайзии в 17 столетии, вообще не содержала томатов

и изначально была соусом, сделанным из анчоусов, грецких орехов, грибов и почечных бобов. Так или иначе, в начале XVII века «кетчапы» попали в Англию. Мудреное слово пришлось по вкусу британцам, и они стали величать им приправу из анчоусов и устриц. Сегодня в поваренных книгах можно найти рецепты грибного, оливкового и других кетчупов. Только в конце 19 века в Англии в кетчупы стали добавлять помидоры, с которыми и стал ассоциироваться термин «кетчуп». И современное деление кетчупов на категории зависит от количества в них томатопродуктов. Но многие из них содержат пищевые красители, ароматизаторы. А кетчупы могут быть и другими — такова цель данного исследования.

Среди растительного сырья особое место занимают плоды тыквы, интерес к которым постоянно растет. Тыква — высокоурожайная культура и имеет сравнительно простую технологию выращивания и переработки. В плодах тыквы содержится целый комплекс полезных веществ, в частности каротиноиды, пищевые волокна, сахара, минеральные вещества и др. В последние годы плоды тыквы стали использовать в консервной, кондитерской, витаминной и спиртовой промышленности, и, тем не менее, россияне мало употребляют тыкву [1, 3].

Учитывая высокую биологическую ценность плодов тыквы, на её основе были разработаны рецептуры и технология производства кетчупов. Кроме тыквы в рецептуру кетчупов добавляли облепиху, выращенную в Алтайском крае. По мнению специалистов, плоды облепихи способствуют нормальному протеканию обменных процессов в организме человека и являются эффективным немедикаментозным средством поддержания здоровья. В 100 г плодов облепихи содержится до трех дневных доз витамина С, более десяти дневных доз  $\beta$ -каротина, витамины группы В, РР, К, а также значительное количество витамина Е, по содержанию которого облепиха превосходит все плоды и ягоды [2].

Для формирования индивидуальных гармоничных и пикантных вкусоароматических восприятий в кетчупы добавляли пряности (корицу, имбирь, гвоздику, кардамон), сахарный сироп, чесночный порошок, томатную пасту, яблоки, курагу, аскорбиновую и лимонную кислоты. Для придания кетчупам требуемой консистенции добавляли пектин, который относится к группе пищевых волокон. Пищевые волокна необходимы для нормального функционирования желудочно-кишечного тракта человека. Недостаток их в рационе питания является одним из факторов развития болезней цивилизации [5].

При выборе рецептурного состава учитывали ряд факторов. Во-первых, кетчупы должны быть узнаваемы потребителями по внешнему виду. Как известно, внешний вид продукта служит одним из факторов при выборе потребителем продуктов питания. Во-вторых, кетчупы должны быть вкусными, так как их основная цель — улучшение восприятия пищи. Только такие кетчупы могут найти своего покупателя и могут быть проданы.

Технология отработки рецептур кетчупов прошла многоуровневый отбор и доработку с целью получения желаемых органолептических характеристик. В готовых кетчупах определяли органолептические, физико-химические и показатели безопасности, используя стандартные методики.

По внешнему виду тыквенные кетчупы представляют собой однородную, равномерно протертую массу без грубых волокон и частиц.

В органолептической оценке цвет является одним из главных показателей, который в первую очередь оценивается потребителем. Цвет тыквенных кетчупов был оранжевым различной степени интенсивности. Достоинством тыквенных кетчупов является то, что окраску им придают натуральные красители, содержащиеся в сырье — каротиноиды. Природные красители имеют преимущество по сравнению с синтетическими, которые могут вызывать небезопасные для здоровья человека побочные эффекты.

Вкус и запах варьировали в зависимости от состава и соотношения компонентов сырья. У сладких кетчупов вкус был приятный кисло-сладкий с привкусом пряностей, у острых — средне-остро-жгучий. Каждый образец имел индивидуальный вкусоароматический «портрет».

Результаты проведенной дегустационной оценки свидетельствуют о том, что кетчупы обладают высокими потребительскими свойствами.

Высокие потребительские достоинства тыквенных кетчупов подтверждают и физико-химические исследования, особенно определение содержания физиологически функциональных компонентов пищи (таблица 1).

*Таблица 1.*

**Содержание физиологически функциональных компонентов пищи в кетчупах**

Наименование показателя	Содержание в сладких тыквенных кетчупах			Содержание в острых тыквенных кетчупах		
	с облепихой	с облепихой и яблоком	с облепихой и курагой	с облепихой полуострый	с облепихой острый	с облепихой и луком острый
Массовая доля витамина С, мг/100 г	27,6	43,2	43,9	1,4	1,8	3,4
Содержание β-каротина, мг/кг	9,6	26,4	15,9	46,2	64,4	74,1
Массовая доля золы, %	0,93	0,79	0,68	1,5	1,2	1,2
Массовая доля пектиновых веществ, %	0,28	0,29	0,26	0,27	0,26	0,29

Проведенные исследования показали, что в тыквенных кетчупах содержится витамин С, причем в сладких его намного больше, чем в острых, что напрямую зависит от добавления в них в качестве регулятора кислотности аскорбиновой кислоты. Общеизвестно, что витамин С обладает иммуномодулирующим действием и является мощным антиоксидантом.

Важным составляющим компонентом тыквенных кетчупов является β-каротин, который усиливает действие витамина С, обладает антирадикальным свойством. По мнению специалистов, регулярное употребление каротиноидов существенно снижает риск развития сердечно-сосудистых, онкологических заболеваний, способствует продлению активного жизненного периода [4].

Как видно из таблицы 1, содержание β-каротина в соусах было неодинаковым. У острых кетчупов его больше (в 2—7 раз), что можно объяснить содержанием томатной пасты в рецептуре этих кетчупов. Они удовлетворяют суточную потребность в каротине на 100 %.

Повышенная физиологическая ценность тыквенных соусов характеризуется еще и наличием минеральных веществ, а также пектина,

который присутствует и в растительном сырье, и добавлен в качестве регулятора консистенции. Он способствует улучшению здоровья за счет снижения уровня холестерина в организме человека, нормализует деятельность желудочно-кишечного тракта, создавая оптимальную среду в толстом кишечнике для развития полезных бактерий. Пектиновые вещества являются природными детоксикантами [5].

Натуральное растительное сырье, которое использовали для производства тыквенных кетчупов, является незаменимым источником минеральных веществ, которые входят в состав структурных элементов всех живых клеток и тканей, жизненно важных ферментов и участвуют в обмене веществ. В разработанных кетчупах содержание минеральных веществ колебалось от 0,69 до 0,93 % в сладких и от 1,2 до 1,5 % — у острых. В составе золы больше всего обнаружено калия, натрия, магния, железа, фосфора и кальция.

По энергетической ценности разработанные тыквенные кетчупы можно отнести к низкокалорийным продуктам. Наиболее калорийным из сладких кетчупов был с облепихой и курагой, а из острых — с добавлением лука.

По микробиологическим показателям и содержанию токсичных элементов, радионуклидов, пестицидов разработанные тыквенные кетчупы отвечали требованиям СанПиН 2.3.2.1078-01.

Таким образом, тыква может служить основным сырьем для производства кетчупов. Разработанные нами кетчупы на основе тыквы имеют высокие потребительские свойства, оригинальный состав, содержат биологически активные вещества, натуральные красители и могут составить конкуренцию традиционным томатным кетчупам.

### **Список литературы:**

1. Гончаров А.В. Видовые и сортовые особенности формирования урожая тыквы, кабачков и патиссона в условиях Московской области: дис...канд. С.-х. наук / А. Гончаров. — М.: 2005. — 22 с.
2. Потемкина Л.В. Облепиха в натуральном питании. Серия: Миллион меню для здоровья и долголетия / Л.В. Потемкина. — Аркаим, 2008 — 48 с.
3. Скрипников Ю.Г. Использование тыквы для производства консервов / Ю.Г. Скрипников, М.Ю. Коровина // Труды ВГАУ — 2009 — Т. 2. — С. 115—116.
4. Химический состав российских пищевых продуктов / под ред. И.М. Скурихина и В.А. Тутельяна. — М.: ДеЛи-Принт, 2002. — 296 с.
5. Шабров А.В. Биохимические основы действия микрокомпонентов пищи / А.В. Шабров, В.А. Дадали, В.Г. Макаров. под ред. В.А. Дадали. — М.: Аввамон, 2003. — 184 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ФИТОДЖЕМОВ**

***Парфенова Тамара Васильевна***

*доцент, канд. техн. наук, Школа экономики и менеджмента  
Дальневосточного Федерального университета,  
г. Владивосток*

*E-mail: [tamar\\_par@mail.ru](mailto:tamar_par@mail.ru)*

***Текутьева Людмила Александровна***

*доцент, канд. техн. наук, Школа экономики и менеджмента  
Дальневосточного Федерального университета,  
г. Владивосток*

*E-mail: [lat777@mail.ru](mailto:lat777@mail.ru)*

***Сон Оксана Михайловна***

*доцент, канд. техн. наук, Школа экономики и менеджмента  
Дальневосточного Федерального университета,  
г. Владивосток*

*E-mail: [oksana\\_son@bk.ru](mailto:oksana_son@bk.ru)*

***Мухортов Сергей Алексеевич***

*доцент, канд. мед. наук,  
Алтайский государственный медицинский университет,  
г. Барнаул*

*E-mail: [altbuket@gmail.com](mailto:altbuket@gmail.com)*

## **THE USE OF PLANT EXTRACTS IN PRODUCTION OF PHYTO-JAM**

***Tamara Parfenova***

*Associate Professor, candidate of technical sciences  
School of Economics and Management, Far Eastern Federal University,  
Vladivostok*

***Liudmila Tekutieva***

*Associate Professor, candidate of technical sciences  
School of Economics and Management, Far Eastern Federal University,  
Vladivostok*

***Oksana Son***

*Associate Professor, candidate of technical sciences  
School of Economics and Management, Far Eastern Federal University,  
Vladivostok*

***Sergey Muhortov***

*Associate Professor, candidate of medical sciences  
Altai State Medical University, Barnaul*

### **АННОТАЦИЯ**

Разработаны фитоджемы с использованием растительных экстрактов, таких как экстракт родиолы розовой, эхинацеи, шиповника, чабреца и других. Введенные экстракты повышают биологическую ценность фитоджемов и позволяют использовать их в функциональном питании. Фитоджемы могут быть изготовлены и с сахарозаменителями, в частности с фруктозой. Пониженное содержание сухих веществ в них не ухудшает их органолептические характеристики.

### **ABSTRACT**

There are phyto-jams developed with a use of plant extracts such as *Rhodiola rosea* extract, *Echinacea* extract, rose hips extract, thyme extract and etc. The used extracts enhance bioavailability of phyto-jams and enable to use them in functional nutrition. Phyto-jams can be produced with sugar substitutes as well, namely with fruit sugar (fructose). Being low at dry substances phyto-jams don't deteriorate in their organoleptic characteristics.

**Ключевые слова:** джемы; растительные экстракты; фитоджемы; функциональная направленность.

**Key words:** jams; plant extracts; phyto-jams; functional orientation

В настоящее время возрастает роль лечебно-профилактического питания. Современная наука о питании рассматривает пищу не только как источник энергии и пластических веществ, но и как сложный натуральный фармакологический комплекс. Человеческому организму оказалось недостаточно лечебно-профилактических продуктов, обогащенных витаминами, минеральными веществами, аминокислотами. Для человека оказались не менее важными и те вещества, которые способны защитить организм от вредного воздействия веществ, попадающих в организм из окружающей среды, пищи, и образующихся в результате метаболических реакций самого организма.

Фруктово-ягодные и овощные продукты снабжают организм человека необходимыми витаминами, минеральными веществами, органическими кислотами, углеводами (глюкозой, фруктозой, клетчаткой, пектином). Джемы являются одним из любимых лакомств не только молодежи и детей, но и взрослого населения. Они содержат полноценный набор сахаров, витамины, минеральные вещества. Несмотря на то, что часть витаминов разрушается при варке джемов, остается много полезных веществ, необходимых для нормального функционирования всех систем организма человека.

В настоящее время технологами ведутся активные поиски новых ингредиентов для изготовления джемов, новых видов продукции направленного действия. В основном используется прием купажирования двух-трех фруктово-ягодных и/или овощных ингредиентов и использование пряно-ароматических растений для ароматизации [2, 1, 4]. Одним из новых направлений в производстве фитоджемов может стать использование растительных экстрактов.

На кафедре товароведения и экспертизы товаров Дальневосточного федерального университета совместно с НПФ «Алтайский букет» разработана ассортиментная линейка фитоджемов на основе фруктово-ягодного сырья с использованием экстрактов алтайских и дальневосточных трав.

В качестве основы для фитоджемов были выбраны самые распространенные плоды и овощи: яблоки, груши, абрикосы, сливы, апельсины, облепиха, тыква. Всех их объединяет то, что они содержат в своем составе пектиновые вещества, входящие в группу пищевых волокон, которым отводится особая роль в лечебно-профилактическом питании. Свойства их поистине уникальны. Особенно высока

их способность связывать промышленные яды, соли тяжелых металлов, радионуклиды и другие вещества. Они рекомендуются для лечения желудочных и кишечных заболеваний, при гипогликемии, влияют на уровень инсулина, защищают организм от ишемии, снижают уровень холестерина в крови. По мнению экспертов Всемирной организации здравоохранения и Всемирной продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, пектиновые добавки могут применяться без количественных ограничений.

Исследования ряда авторов показали, что консервы фруктовой группы сохраняют высокую комплексообразующую способность пектина в отличие от овощных, в которых пектин теряет свою активность в отношении ионов свинца на 50—80 %. Наилучшее же физиологическое воздействие пектин проявляет в гидратированной форме, в которой он сохраняет максимальную комплексообразующую способность. К таким продуктам относятся соки, джемы, конфитюры, напитки, мармелад.

В соответствии с основами рационального питания содержание пектиновых веществ в суточном рационе должно быть 5—6 г. При заболеваниях, протекающих с различной степенью выраженности патологических отклонений, требуется дополнительное введение в рацион специальных пектинов. Пектиновые вещества эффективно используют при расстройствах жирового и холестеринового обмена (общий атеросклероз, ожирение), снижении моторной функции желчевыводящих путей, кишечника, интоксикации солями тяжелых металлов, нарушении обмена веществ (неправильное лечебное голодание, работники тяжелого физического труда, спортсмены и др.). В ежедневный рацион питания и практически во все диетические столы коррегирующая доза пектина может быть введена в виде экстрактов и концентратов или в виде готовых продуктов лечебно-профилактического назначения [5, 3].

Основные задачи при разработке фитоджемов: снижение энергетической ценности продукта за счет уменьшения количества сахара в рецептурах или его замены фруктозой и сохранение консистенции за счет добавления пектина, усиление полезных свойств основного сырья (плодов) введением сухих и сгущенных растительных экстрактов (таблица 1).

*Таблица 1.*

**Функциональная направленность фитоджемов**

<b>Наименование основного сырья</b>	<b>Растительные экстракты</b>	<b>Функциональная направленность фитоджемов</b>
Абрикосы	Экстракт овса Имбирь Экстракт зеленого чая	Общеукрепляющий при заболеваниях пищеварительной и дыхательной систем, повышающий аппетит
Абрикосы Тыква	Экстракт овса Порошок годжи (или барбариса) Экстракт шиповника	Общеукрепляющий, способствующий нормализации работы печени, улучшающий обмен веществ
Яблоки Лимоны (цедра)	Экстракт шиповника Экстракт родиолы розовой Экстракт эхинацеи	Иммуномодулирующий, общеукрепляющий
Яблоки Лимоны (цедра)	Экстракт левзеи сафлоровидной Экстракт зверобоя	Иммуномодулирующий, общеукрепляющий
Груши Лимон (цедра)	Экстракт чабреца Экстракт ромашки Экстракт аниса	Для улучшения дыхания, противостудный
Сливы	Экстракт сенны Экстракт родиолы розовой Экстракт мяты перечной	Очищающий, стимулирующий обмен веществ
Апельсины Тыква	Экстракт красного корня Экстракт чабреца	Тонизирующий, улучшающий обмен веществ
Тыква Облепиха	Экстракт зеленого чая Экстракт шиповника	Источник витаминов и антиоксидантов, стимулирующий работу всех систем организма

Функциональная направленность фитоджемов может иметь более широкие рамки, чем представлено в таблице. Многие лекарственные растения обладают широким спектром физиологического воздействия на организм человека. Согласно традициям восточной медицины, сахар является «проводником» физиологически активных веществ в клетки печени человека. Он также вуалирует специфический вкус растительных экстрактов, что широко используется при производстве фармпрепаратов в форме сиропа.

Фитоджемы изготавливали по традиционной технологии, но с уменьшенным количеством сахара по рецептуре, это снижало энергетическую ценность продукта, что при современном подходе к питанию актуально. Чтобы с уменьшением количества сахара консистенция фитоджемов осталась прежней, в джемы в конце варки вводили дополнительное количество подготовленного пектина одновременно с введением растительных экстрактов. Введенный дополнительно пектин усиливает протекторные свойства фитоджемов, обусловленные наличием нативных пектиновых веществ основного сырья.

Введение растительных экстрактов повлияло на органолептические характеристики фитоджемов, и, в первую очередь, на вкус и цвет. Все полученные фитоджемы имели разные оттенки коричневого цвета (от светло-коричневого до темно-коричневого), который зависел как от количества вводимого экстракта (они все имели темно-коричневый цвет), так и цвета основного сырья. Особенно заметно менялся цвет джемов из светлоокрашенных плодов (яблоки, груши). Растительные экстракты придали фитоджемам специфический привкус, пикантность, что выгодно отличает их от традиционных джемов. Менее сладкий вкус также приветствуется потребителями.

Содержание сухих растворимых веществ характеризует степень насыщения плодов сахаром, который выполняет консервирующую функцию. Как известно, большое количество сахара в питании способствует развитию многих заболеваний. Содержание сухих веществ в разработанных фитоджемах имеет широкий диапазон: от 40 до 80 %. Снижение содержания сахара в рецептуре некоторых джемов снижает содержание сухих веществ, которые нормируются стандартом. Поэтому на разработанные фитоджемы разработан стандарт организации. Уменьшение количества сахара приветствуется большинством потребителей, а нужную консистенцию фитоджемов можно достичь технологическими приемами.

Сорбиновую кислоту добавляли в рекомендуемых количествах в фитоджемы, у которых содержание сухих веществ было ниже 55 % (от 40 до 54 %). Содержание сухих веществ снижали целенаправленно за счет уменьшения количества сахара, а также замены его фруктозой, у которой коэффициент сладости ниже, чем у сахарозы.

Разработанные фитоджемы могут изготавливаться стерилизованными, нестерилизованными (горячего розлива) и с консервантом (сорбиновой кислотой). Сорбиновая кислота признана ВОЗ

как безопасный консервант, оказывающий положительное влияние на иммунитет человека.

Разработанная линейка фитоджемов позволяет расширить ассортимент этой продукции и вывести его из разряда сладких десертов в продукты функционального назначения различной направленности.

### **Список литературы:**

1. Банановый джем с засахаренным лимоном. Jam de bananes au citron confit: Заявка 2769178 Франция, МПК А 23 L 1/064 / Bernaert Olivier Francis Joel. — № 9712735; Заявл. 07.10.1997; Опубл. 09.04.1999.
2. Влияние добавки плодовых диетических волокон на физические свойства и органолептические свойства земляничного джема. Influence of fruit dietary fibre addition on properties of strawberry jams. Grigelmo-Miguel N., Martin-Belloso O. J. Food Eng. 1999. 41, № 1, с. 13—21.
3. Голубев В.Н., Шелухина Н.П. Пекгин: химия, технология, применение. — Москва, 1995, 375 с.
4. Диетические джемы / Л.А. Русанова, Л.В. Михайлюта, О.Н. Григоренко // 2 Всерос. науч.-техн. конф. «Прогресс. экол. безопас. технол. хранения и комплекс. перераб. сельхозпродукции для создания продуктов питания повыш. пищ. и биол. Ценности», Углич, 1—4 окт., 1996: Тез. докл. Ч. 2. — Углич, 1996. — С. 531.
5. Уголев А.М. Теория адекватного питания и трофология. — Л.: Наука, 1991, 272 с.

## **СЕКЦИЯ 6.**

### **ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, РАДИОТЕХНИКА**

#### **ОСОБЕННОСТИ ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕТОВОДА СЛОЖНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ**

*Андросик Андрей Борисович*

*канд. техн. наук, доцент МГОУ, г. Москва*

*Мировицкая Светлана Дмитриевна*

*канд. техн. наук, доцент МГОУ, г. Москва*

*E-mail: [scotchwood@yandex.ru](mailto:scotchwood@yandex.ru)*

#### **FEATURES OF SOUNDING THE FIBERS OF COMPLEX CROSS SECTION GEOMETRY**

*Andrey Androsik*

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of MSOU, Moscow*

*Svetlana Mirovitskaya*

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of MSOU, Moscow*

#### **АННОТАЦИЯ**

В работе предложен модифицированный рефракционный метод исследования волоконных световодов сложного поперечного сечения на примере структуры в виде шестилепестковой розы. Даны результирующие формулы вычисления основных геометро-оптических характеристик световодов.

#### **ABSTRACT**

This work proposes a modified refraction method of investigation of optical fibers complex cross sections on the example of the structure in the form of six zone roses. The results of the formula of calculation of the main geometric and optical characteristics of optical fibers are given.

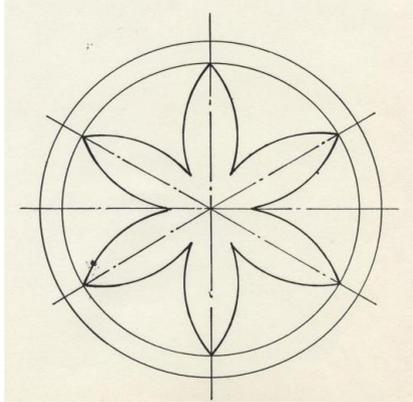
**Ключевые слова:** волоконный световод; рефракция; геометрико-оптические характеристики.

**Keywords:** optical fiber; refraction; geometric and optical characteristics.

Изменения геометрических размеров сердцевины волоконного световода (ВС) по его длине существенно влияют на характеристики излучения, а небольшие отклонения диаметра оболочки (при достаточной ее толщине) не имеют большого значения для распространения излучения. Однако при изготовлении волоконно-оптических элементов (ВОЭ) — согласующих устройств, оптических соединителей, блоков, жгутов, пластин — внешние геометрические параметры весьма важны. Несосоосность сердцевины и оболочки, их эллиптичность сильно влияют на параметры соединителей, фоконов, фокусирующих стержней. Требования к стабильности геометрических параметров ВС еще более возрастают для одномодовых волокон.

За последнее время было разработано большее число бесконтактных оптических методов, базирующихся на различных оптических явлениях. К ним относятся интерференция и дифракция падающей на однородный или не однородный диэлектрический цилиндр плоской волны, рефракция узкого зондирующего пучка, излучение при прохождении пучка через диэлектрический цилиндр, его отражение от торца цилиндра и многие др. Методы контроля реализуются различными способами, использующими как интегральные преобразования (Фурье, Радона, Абея), так и решения дифференциальных уравнений теории дифракции на диэлектрическом цилиндре [1, с. 36, 2, с. 54].

Ниже проанализированы особенности расчета волоконной структуры, содержащей оболочку и сердцевину с различными показателями преломления. Рассматривается волоконная структура с круглой оболочкой и сердечником в виде шести лепестковой розы (рис. 1). Исследуются геометрические образы границ оболочки, которые являются окружностью. В рассматриваемой декартовой системе координат центр окружности совпадает с центром координат. Радиус окружности равен радиусу оболочки. Уравнение, описывающее окружность, имеет следующий вид  $x^2 + y^2 = R^2$ . Геометрический образ сердечника составлен из трех эллипсов с общим центром, с одинаковыми малыми и большими радиусами и развернутых относительно друг друга на  $60^\circ$ .



**Рисунок 1. Волоконный световод с подвешенной профильной жилой**

Уравнение эллипса:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1;$$

где:  $a$  — радиус эллипса по оси  $OX$ ,

$b$  — радиус эллипса по оси  $OY$ .

Уравнения преобразования координат (поворот осей координат на угол  $\varphi$ ):

$$x = x \cos \varphi + y \sin \varphi; \quad y = y \cos \varphi - x \sin \varphi.$$

В данном случае  $\varphi=60^\circ$ , откуда получаются соотношения  $x=(3y)^{1/2}$  и  $y=-(3x)^{1/2}$ . Подставляя по очереди полученные соотношения в уравнение эллипса, можно записать:

$$\text{при } x = \sqrt{3y} \quad y^2 = \frac{a^2 b^2}{a^2 + 3b^2} \quad x = \frac{3a^2 b^2}{a^2 + 3b^2}$$

$$\text{при } y = -\sqrt{3x} \quad x^2 = \frac{a^2 b^2}{3a^2 + b^2} \quad y = \frac{3a^2 b^2}{3a^2 + b^2}$$

Таким образом, получаются точки пересечения двух эллипсов:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{ab}{\sqrt{3a^2 + b^2}} & y_1 &= ab\sqrt{\frac{3}{3a^2 + b^2}} \\
 x_2 &= -\frac{ab}{\sqrt{3a^2 + b^2}} & y_2 &= -ab\sqrt{\frac{3}{3a^2 + b^2}} \\
 x_3 &= \frac{ab\sqrt{3}}{\sqrt{a^2 + 3b^2}} & y_3 &= \frac{ab}{\sqrt{a^2 + 3b^2}} \\
 x_4 &= -ab\sqrt{\frac{3}{a^2 + 3b^2}} & y_4 &= \frac{ab}{\sqrt{a^2 + 3b^2}}
 \end{aligned}$$

Очевидно, что точки 3 и 4 лежат внутри третьего эллипса, который развернут относительно первого на угол  $120^\circ$  или  $-60^\circ$ . Таким образом, важна только точка 1. Точка 2 получается из точки 1 при повороте точки 1 относительно центра на угол  $180^\circ$ . Все интересующие точки можно найти, поворачивая точку 1 на углы, кратные  $60^\circ$  ( $60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ, 300^\circ$ ). Координаты точки 1:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{ab}{\sqrt{3a^2 + b^2}} & y_1 &= ab\sqrt{\frac{3}{3a^2 + b^2}}
 \end{aligned}$$

Уравнение преобразования координат — поворот на угол  $\varphi$  и смещение по осям:

$$x = x \cos \varphi + y \sin \varphi + S_x \qquad y = y \cos \varphi - x \sin \varphi + S_y$$

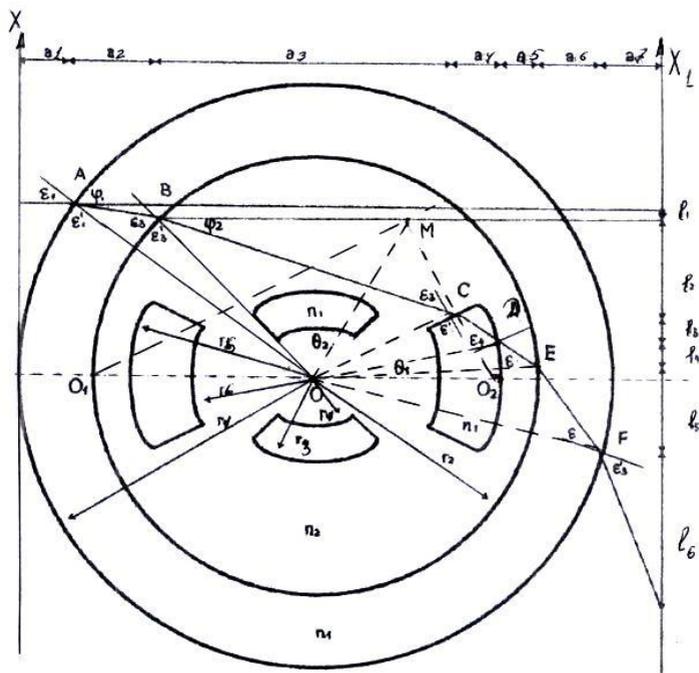
Подставляя в уравнения преобразования координаты точки 1, можно получить координаты точек пересечения эллипсов. Геометрическим образом границы сердцевины будут дуги эллипсов, ограниченных точками пересечения.

Геометрическим образом траектории движения луча являются отрезки прямых, концами которых являются точки пересечения прямых и границ оболочек и сердцевины (рис. 2).

Из рис. 2 и 3 вытекают формулы:

$$\varepsilon_1 = \arcsin\left(\frac{x}{r_1}\right) \quad \varepsilon'_1 = \arcsin\left(\frac{n_0 \sin \varepsilon_1}{n_1}\right) \quad \varphi_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon'_1$$

$$\varepsilon_2 = \arcsin\left(\frac{x n_0}{r_2 n_1}\right) \quad \varepsilon'_2 = \arcsin\left(\frac{n_1 \sin \varepsilon_2}{n_2}\right) \quad \varphi_2 = \varphi_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon'_2$$



*Рисунок 2. Траектория движения основного зондирующего луча*

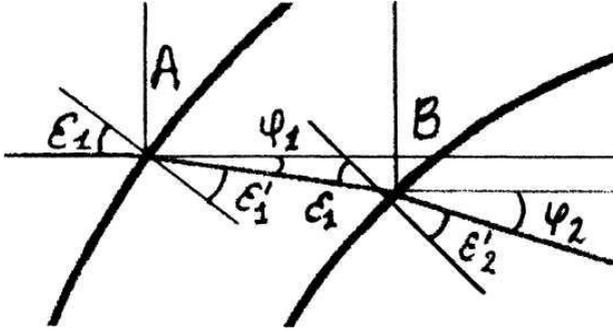


Рисунок 3. Вход луча в волоконную структуру

Рассмотрим  $\triangle BOC$  и параллельные прямые  $BM$  и  $OO_1$  с секущей  $BO$  (рис. 2, 3):

$$\begin{aligned} \angle O_1OB = \angle MBO &= \varepsilon'_2 + \varphi_2, \alpha < \angle O_1OC = \angle O_1OO_2 - \angle O_2OC = \pi - \frac{\theta_1}{2} \\ \angle BOC &= \angle O_1OC - \angle O_1OB = \pi - \frac{\theta_1}{2} - \varepsilon'_2 - \varphi_2 \\ \angle BCO &= \pi - \angle BOC - \angle OBC = \pi - \left( \pi - \frac{\theta_1}{2} - \varepsilon'_2 - \varphi_2 \right) - \varepsilon'_2 = \frac{\theta_1}{2} = \varphi_2 \\ \varepsilon_3 &= \frac{\pi}{2} - \angle BCO = \frac{\pi}{2} - \frac{\theta_1}{2} - \varphi_2 \end{aligned}$$

По закону Снелля:

$$\varepsilon'_3 = \arcsin\left(\frac{n_2 \sin \varepsilon_3}{n_4}\right).$$

Из геометрических соображений:

$$\varphi_3 = \varphi_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon'_3.$$

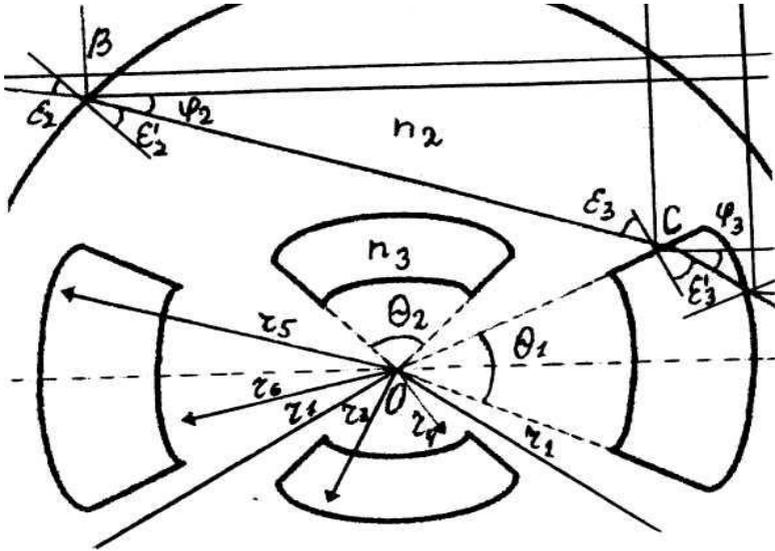


Рисунок 4. Рефракция зондирующего луча

Из  $\triangle BOC$  по теореме синусов (рис. 2, 4):

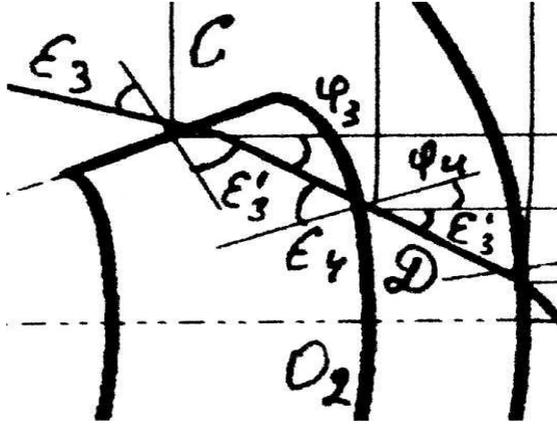
$$\frac{OC}{\sin OBC} = \frac{OB}{\sin OCB}; \quad OC = \Delta_1 = \frac{r_2 \sin \varepsilon'_2}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_3\right)}$$

Из  $\triangle COD$  по теореме синусов (рис.2, 5):

$$\frac{OC}{\sin ODC} = \frac{OD}{\sin OCD}; \quad \varepsilon_4 = \arcsin\left(\frac{\Delta_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon'_3\right)}{r_5}\right)$$

Из геометрических соображений:

$$\varphi_4 = \varphi_1 - (\varepsilon_4 - \varepsilon'_4)$$



*Рисунок 5. Зондирование сердцевины волоконной структуры*

Из  $\triangle DOE$  по теореме синусов (рис. 2, 6):

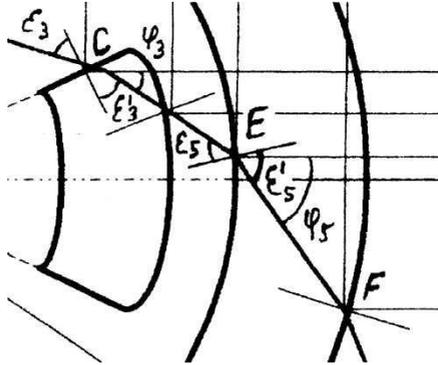
$$\frac{OD}{\sin OED} = \frac{OE}{\sin OCD}; \quad \varepsilon_5 = \arcsin\left(\frac{r_5 \sin(\pi - \varepsilon_4)}{r_2}\right).$$

Из закона Снелля:

$$\varepsilon'_5 = \arcsin\left(\frac{n_2 \sin \varepsilon_5}{n_1}\right)$$

Из геометрических соображений:

$$\varphi_5 = \varphi_4 - (\varepsilon_5 - \varepsilon'_5).$$



**Рисунок 6. Распространение зондирующего луча на выходе из структуры**

Из  $\triangle EOF$  по теореме синусов (рис.2, 6):

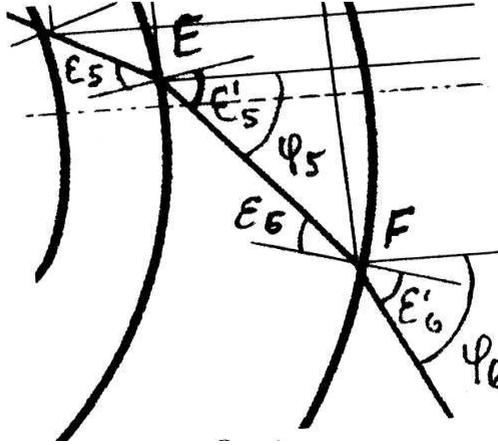
$$\frac{OE}{\sin OFE} = \frac{OF}{\sin OEF}; \quad \varepsilon_6 = \arcsin\left(\frac{r_5 \sin(\pi - \varepsilon'_5)}{r_1}\right).$$

По закону Снелля:

$$\varepsilon'_6 = \arcsin\left(\frac{n_1 \sin \varepsilon_6}{n_0}\right).$$

Из геометрических соображений:

$$\varphi_6 = \varphi_5 - (\varepsilon_6 - \varepsilon'_6).$$



**Рисунок 7. Формирование траектории выхода луча**

Из  $\triangle AOB$  по теореме синусов (рис.2):

$$\frac{AB}{\sin AOB} = \frac{BO}{\sin BAO}; \quad b_1 = r_2 \frac{\sin(\varepsilon_2 - \varepsilon'_1)}{\sin \varepsilon'_1}.$$

Из  $\triangle BOC$  по теореме синусов:

$$\frac{BC}{\sin BOC} = \frac{BO}{\sin BCO}; \quad b_2 = \frac{r_2 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon'_2 + \varepsilon_3\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_3\right)}.$$

Из  $\triangle COD$  по теореме синусов:

$$\frac{CD}{\sin COD} = \frac{OD}{\sin OCD}; \quad b_3 = \frac{r_3 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon'_3 + \varepsilon_4\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon'_3\right)}.$$

Из  $\blacktriangle$ DOE по теореме синусов:

$$\frac{DE}{\sin DOE} = \frac{OE}{\sin ODE}; \quad b_4 = \frac{r_2 \sin(\varepsilon'_4 + \varepsilon_5)}{\sin(\pi - \varepsilon'_5)}.$$

Из  $\blacktriangle$ EOF по теореме синусов (рис.2,7):

$$\frac{EF}{\sin EOF} = \frac{OF}{\sin OFE}; \quad b_5 = \frac{r_1 \sin(\varepsilon'_5 + \varepsilon_6)}{\sin(\pi - \varepsilon'_6)}.$$

Проекция луча на горизонтальную ось имеют вид (рис.2):

$$\begin{aligned} a_1 &= r_1 - \sqrt{r_1^2 - x^2}, & a_2 &= b_1 \cos \varphi_1, & a_3 &= b_2 \cos \varphi_2, \\ a_4 &= b_3 \cos \varphi_3, & a_5 &= b_4 \cos \varphi_4, & a_6 &= b_1 \cos \varphi_5, \\ a_7 &= 2r_1 + L - \sum_{i=1}^6 a_i. \end{aligned}$$

Проекция луча на ось  $x_1$  записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} l_1 &= b_1 \sin \varphi_1; & l_2 &= b_2 \sin \varphi_2; & l_3 &= b_3 \sin \varphi_3; \\ l_4 &= b_4 \sin \varphi_4; & l_5 &= b_1 \sin \varphi_5; & l_i &= a_7 \operatorname{tg} \varphi_6. \end{aligned}$$

Окончательно получаем координату отклонения луча:

$$x_1 = x - \sum_{i=1}^6 l_i$$

Проекция луча на горизонтальную ось внутри световода:

$$\begin{aligned} a &= b_1 \cos(\varepsilon_1 - \varepsilon'_1) + b_2 \cos(\varepsilon_1 - \varepsilon'_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon'_2) + b_3 \cos(\varepsilon_1 - \varepsilon'_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon'_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon'_3) + \\ &+ b_4 \cos(\varepsilon_1 - \varepsilon'_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon'_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon'_3 - (\varepsilon_4 - \varepsilon'_4)) + \\ &+ b_5 \cos(\varepsilon_1 - \varepsilon'_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon'_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon'_3 - (\varepsilon_4 - \varepsilon'_4) - (\varepsilon_5 - \varepsilon'_5)). \end{aligned}$$

Интенсивность луча равна:

$$I = \left| (-1)^0 P_1 P_2 P_3 P'_5 P'_2 P' \eta (x_1 - x_1^{(1)}) \exp \left[ \left( \frac{i2\pi}{\lambda} \right) \left( b_1 n_1 + b_2 n_2 + b_3 n_4 + b_4 n_2 + b_5 n_1 + \right) \right] + n_0 \left( a_1 + \left( \frac{2r_1 + L - a_1 - a}{\cos \varphi_6} \right) \right) \right|^2,$$

где:  $x_1^{(1)} = x - l - (2r_1 + L - a_1 - a) \operatorname{tg} \varphi_6$ ,

$\eta$  — коэффициент поглощения материала.

**Математическое обеспечение программы для расчета прохождения луча в многослойных фигурах, состоящих из окружностей, дуг и радиальных прямых.** Для решения задачи используется декартова система координат, точка — А с координатами —  $X_0$  и  $Y_0$ , вектор —  $a$  с углом наклона к оси —  $X$  и модулем —  $m$ .

Так как внешняя фигура является окружностью, то вторая точка вычисляется по формуле  $X_c = R_0 - Y_0$ ,  $Y_c = Y_0$ . Все последующие точки вычисляются по формулам:

1. вектор и окружность —

$$\begin{cases} y^2 = R^2 - x^2 \\ y = kx + b \\ b = y_0 - kx \end{cases}$$

$\alpha$  — угол наклона вектора,  $k$  —  $\operatorname{tg} \alpha$ .

$$\begin{aligned} k^2 x^2 + 2kxb + b^2 &= R^2 - x^2 \\ x^2(k^2 + 1) + 2kxb + b^2 - R^2 &= 0 \\ D &= 4k^2 b^2 - 4(k^2 + 1)(b^2 - R^2) \\ D &= 4(R^2(k^2 + 1) - b^2) \\ * a &= k^2 + 1 \\ x_{1,2} &= \frac{-kb \pm \sqrt{aR^2 - b^2}}{a} \end{aligned}$$

модуль выбора

$$m_{1,2} = \frac{x_{1,2} - x_0}{\cos \alpha}.$$

2. вектор и прямая —

$$\begin{cases} x = x_0 + m \cos \alpha \\ y = y_0 + m \sin \alpha \\ y = xtg \beta \end{cases}$$

$\alpha$  — угол наклона вектора,  $\beta$  — угол нормали.

$$\begin{aligned} y_0 + m \sin \alpha &= tg \beta (x_0 + m \cos \alpha) \\ m &= \frac{y_0 - x_0 tg \beta}{\sin \alpha - tg \beta \cos \alpha} \end{aligned}.$$

3. для расчета угла падения —

$$\cos \gamma = \frac{\bar{a}\bar{b}}{|\bar{a}||\bar{b}|}, \quad \cos \gamma = \frac{x_1 x_2 + y_1 y_2}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2} \sqrt{x_2^2 + y_2^2}}.$$

$\bar{a}$  — вектор луча,  $\bar{b}$  — вектор нормали.

4. для расчета угла преломления —

$$\sin(\gamma_2) = \frac{n_1}{n_2} \sin \gamma$$

$\gamma$  — угол падения,

$\gamma_2$  — угол преломления,

$n_1, n_2$  — коэффициенты.

5. для перерасчета угла наклона вектора к оси X используются четыре дополнительных вектора. Два вектора направлены

перпендикулярно к линии фигуры и два вектора направлены по касательной к линии фигуры —  $n_1, n_2$  — векторы нормали (углы),  $k_1, k_2$  — векторы касательной (углы).

$$\begin{array}{ll}
 n_1 > k_1, & \gamma \in [0; 2\pi], \\
 \gamma \in [k_1; n_1] & \gamma_3 = n_1 - \gamma_2 \\
 \gamma \in [n_1; k_2] & \gamma_3 = n_1 + \gamma_2 \\
 \gamma \in [k_2; n_2] & \gamma_3 = n_2 - \gamma_2 \\
 \gamma > n_2 \text{ или } \gamma < k_1 & \gamma_3 = n_2 + \gamma_2 \\
 k_1 > n_1 & \gamma \in [0; 2\pi] \\
 \gamma \in [n_1; k_1] & \gamma = n_1 + \gamma_2 \\
 \gamma \in [k_1; n_2] & \gamma = n_2 - \gamma_2
 \end{array}$$

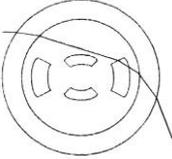
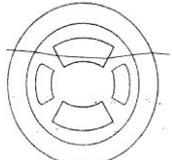
$\alpha$  — угол наклона вектора,

$\beta$  — угол нормали.

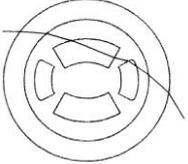
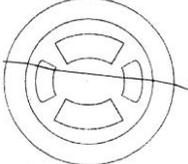
Основные типы характеристических лучей, вносящих максимальный вклад в картину рассеяния, сведены в табл. 1.

**Таблица 1.**

**Формулы вычисления основных типов характеристических лучей**

	$I = \left  (-1)^0 P_1 P_2 P_9 P_5' P_2' P_1' \eta(x_1 - x_1^{(1)}) \exp \left[ \left( \frac{i2\pi}{\lambda} \right) \left( b_1 n_1 + b_2 n_2 + b_3 n_4 + b_4 n_2 + b_5 n_1 + \right) + n_0 \left( a_1 + \left( \frac{2r_1 + L - a_1 - a}{\cos J_6} \right) \right) \right] \right ^2$ <p>где</p> $x_1^{(1)} = x - l^{(1)} - (2r_1 + L - a_1 - a^{(1)}) g J_6.$
	$I = \left  (-1)^0 P_1 P_2 P_7 P_8' P_2' P_1' \eta(x_1 - x_1^{(2)}) \exp \left[ \left( \frac{i2\pi}{\lambda} \right) \left( b_1 n_1 + b_2 n_2 + b_3 n_4 + b_4 n_2 + b_5 n_1 + \right) + n_0 \left( a_1 + \left( \frac{2r_1 + L - a_1 - a}{\cos J_6} \right) \right) \right] \right ^2$ <p>где</p> $x_1^{(2)} = x - l^{(2)} - (2r_1 + L - a_1 - a^{(2)}) g J_6.$

	$I = \left  (-1)^0 P_1 P_2 P_3 P_8' P_2' P_1' \eta (x_1 - x_1^{(9)}) \exp \left[ \frac{i2\pi}{\lambda} \left( +n_0 \left( a_1 + \left( \frac{2r_1 + L - a_1 - a}{\cos J_6} \right) \right) \right) \right] \right ^2$ <p>ГДЕ</p> $x_1^{(9)} = x - l^{(9)} - (2r_1 + L - a_1 - a^{(9)}) J_6 g.$
	$I = \left  (-1)^0 P_1 P_2 P_3 P_4' P_8' P_2' P_1' \eta (x_1 - x_1^{(10)}) \exp \left[ \frac{i2\pi}{\lambda} \left( \begin{array}{l} b_1 n_1 + b_2 n_2 + b_3 n_4 + b_4 n_2 + b_3 n_3 + \\ + b_6 n_2 + b_7 n_1 + \\ + n_0 \left( a_1 + \left( \frac{2r_1 + L - a_1 - a}{\cos J_8} \right) \right) \end{array} \right) \right] \right ^2$ <p>ГДЕ</p> $x_1^{(10)} = x - l^{(10)} - (2r_1 + L - a_1 - a^{(10)}) J_8 g.$
	$I = \left  (-1)^0 P_1 P_2 P_3 P_4' P_8' P_2' P_1' \eta (x_1 - x_1^{(11)}) \exp \left[ \frac{i2\pi}{\lambda} \left( \begin{array}{l} b_1 n_1 + b_2 n_2 + b_3 n_4 + b_4 n_2 + b_3 n_3 + \\ + b_6 n_2 + b_7 n_4 + b_8 n_2 + b_9 n_1 + \\ + n_0 \left( a_1 + \left( \frac{2r_1 + L - a_1 - a}{\cos J_{10}} \right) \right) \end{array} \right) \right] \right ^2$ <p>ГДЕ</p> $x_1^{(11)} = x - l^{(11)} - (2r_1 + L - a_1 - a^{(11)}) J_{10} g.$
	$I = \left  (-1)^0 P_1 P_2 P_3 P_4' P_8' P_2' P_1' \eta (x_1 - x_1^{(12)}) \exp \left[ \frac{i2\pi}{\lambda} \left( \begin{array}{l} b_1 n_1 + b_2 n_2 + b_3 n_4 + b_4 n_2 + b_3 n_3 + \\ + b_6 n_2 + b_7 n_4 + b_8 n_2 + b_9 n_1 + \\ + n_0 \left( a_1 + \left( \frac{2r_1 + L - a_1 - a}{\cos J_9} \right) \right) \end{array} \right) \right] \right ^2$ <p>ГДЕ</p> $x_1^{(12)} = x - l^{(12)} - (2r_1 + L - a_1 - a^{(12)}) J_9 g.$
	$I = \left  (-1)^0 P_1 P_2 P_3 P_6' P_5' P_2' P_1' \eta (x_1 - x_1^{(13)}) \exp \left[ \frac{i2\pi}{\lambda} \left( \begin{array}{l} b_1 n_1 + b_2 n_2 + b_3 n_3 + b_4 n_3 + b_5 n_4 + \\ + b_6 n_2 + b_7 n_1 \\ + n_0 \left( a_1 + \left( \frac{2r_1 + L - a_1 - a}{\cos J_8} \right) \right) \end{array} \right) \right] \right ^2$ <p>ГДЕ</p> $x_1^{(13)} = x - l^{(13)} - (2r_1 + L - a_1 - a^{(13)}) J_8 g.$

	$I = \left( (-1)^0 P_1 P_2 P_3 P'_3 P'_2 P'_1 \eta (x_1 - x_1^{(16)}) \exp \left[ \frac{i2\pi}{\lambda} \left( \begin{array}{l} b_1 n_1 + b_2 n_2 + b_3 n_3 + b_4 n_4 + \\ + b_5 n_5 + b_7 n_1 + \\ + n_0 \left( a_1 + \left( \frac{2r_1 + L - a_1 - a}{\cos J_8} \right) \right) \end{array} \right) \right] \right)^2$ <p>Где</p> $x_1^{(16)} = x - l^{(16)} - (2r_1 + L - a_1 - a^{(16)}) J_8 g.$
	$I = \left( (-1)^0 P_1 P_2 P_3 P'_3 P'_2 P'_1 \eta (x_1 - x_1^{(18)}) \exp \left[ \frac{i2\pi}{\lambda} \left( \begin{array}{l} b_1 n_1 + b_2 n_2 + b_3 n_4 + b_4 n_2 + b_5 n_4 + \\ + b_6 n_2 + b_7 n_1 + \\ + n_0 \left( a_1 + \left( \frac{2r_1 + L - a_1 - a}{\cos J_8} \right) \right) \end{array} \right) \right] \right)^2$ <p>Где</p> $x_1^{(18)} = x - l^{(18)} - (2r_1 + L - a_1 - a^{(18)}) J_8 g.$

Рассмотренный выше метод зондирования волоконных структур различных типов позволяет вычислить геометрические и оптические параметры световодов широкого диапазона применения.

### Список литературы:

1. Андросик А.Б., Мировицкая С.Д. Моделирование градиентных оптических волокон рефракционным методом. В кн.: Информационные технологии: Приоритетные направления развития. Книга 8. — Новосибирск: ООО «Сибпринт». — 2012. — 227 с.
2. Лазарев Л.П., Мировицкая С.Д. Контроль геометрических и оптических параметров волокон. — М.: Радио и связь, 1988. — 280 с.

# ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ МЕТОДА ЛИНЕАРИЗАЦИИ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

*Панюков Алексей Геннадьевич*

*магистр, аспирант кафедры «Системы Передачи Информации»  
Омского Государственного Университета Путей Сообщения, г. Омск  
E-mail: [panukov\\_ag@mail.ru](mailto:panukov_ag@mail.ru)*

## EVALUATION OF COEFFICIENTS FOR METHOD OF LINEARIZATION OF THE TRANSMITTING CHARACTERISTIC OF THE ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

*Alexey Panukov*

*Master, post-graduate of «Information Transmitting Systems» chair of  
Omsk State Transport University, Omsk*

### АННОТАЦИЯ

В данной работе рассматривается вычисление коэффициентов разложения степенного ряда гармонических функций. Постановка задачи связана с реализацией метода линеаризации передаточной характеристики аналого-цифровых преобразователей, основанного на спектральном анализе.

### ABSTRACT

In this paper is considered calculation of expansion coefficients of power series of harmonic functions. Statement of the problem connected with the implementation of the linearization method of a linearization of the transmitting characteristic of the analog-to-digital converters.

**Ключевые слова:** аналого-цифровой преобразователь; АЦП; дискретизация; интегральная нелинейность; дифференциальная нелинейность; спектральный анализ линеаризация; передаточная характеристика; рекуррентные соотношения.

**Keywords:** analog-to-digital converter; ADC; digitization; integral nonlinearity; differential nonlinearity; linearization; transmitting characteristic; recurrence relations; spectral analysis.

Идеальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) имеет линейную характеристику преобразования [4]. Реальные АЦП обладают нелинейной характеристикой, описываемой такими параметрами, как дифференциальная и интегральная нелинейности [1, 4]. В данной работе предлагается метод линеаризации характеристики преобразования, базирующийся на оценке спектрального состава сигнала после аналого-цифрового преобразования. Существующие методы специфичны для конкретных типов АЦП [1, 3], тогда как описываемая методика может быть применена для любых типов устройств такого рода.

Введем передаточную характеристику аналого-цифрового преобразователя, как зависимость, определяемую исходя из следующего соотношения:

$$y_k = H[x(t_k)], \quad (1)$$

где:  $x(t_k)$  — значение исходного аналогового сигнала в моменты времени  $t_k$ ;

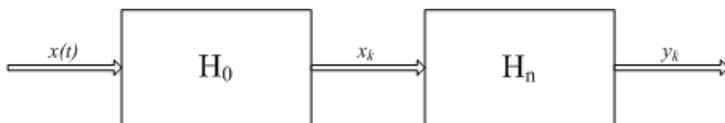
$H$  — функция, описывающая характеристику преобразования АЦП;

$y_k$  — значение  $k$ -го отсчета дискретизированного сигнала.

Введем нелинейность АЦП путем представления  $H[x(t_k)]$  как серию последовательных преобразований входного сигнала:

$$H[x(t_k)] = H_n \{H_0[x(t_k)]\} \quad (2)$$

Соотношение (2) можно поясняется на рис. 1. На первом этапе входной сигнал  $x(t)$  преобразуется в последовательность отсчетов  $x_k$  с помощью идеального АЦП, имеющего характеристику преобразования  $H_0[x(t_k)]$ . На втором этапе последовательность  $x_k$  поступает на вход нелинейной части АЦП с характеристикой  $H_n[x_k]$ . В итоге получаем последовательность искаженных выборок  $y_k$ .



**Рисунок 1. Графическое представление аналого-цифрового преобразования**

Далее будем рассматривать только нелинейную составляющую передаточной характеристики  $H_n[x_k]$ .

Исходя из типичных значений интегральной нелинейности для реальных аналого-цифровых преобразователей, можно сделать вывод, что она обычно не превышает величины в единицы процентов. Соответственно, мы можем разложить данную характеристику в ряд Фурье в окрестности текущего значения выборки сигнала  $x_k$ :

$$H_n[x_k] = \sum_{i=0}^n a_i x_k^i \quad (3)$$

Обратим внимание, что в определении нелинейной части передаточной характеристики мы ограничиваемся первыми  $n$  членами разложения Фурье. Число  $n$  может зависеть от типа и характеристик АЦП, и является темой для дальнейших исследований.

Метод линеаризации заключается в определении коэффициентов при  $a_i$  исходя из спектрального состава последовательности  $y_k$ . В качестве тестового сигнала удобно использовать синусоидальный сигнал. Спектр такого сигнала отличен от нуля только в одной точке, соответствующей частоте синусоиды. При вводе нелинейности спектр сигнала видоизменяется — появляются высшие гармоники. Рассмотрим тестовый сигнал, описываемый соотношением (4):

$$x(t) = A \sin(\omega t) \quad (4)$$

При прохождении данного сигнала через идеальный аналого-цифровой преобразователь отклик можно представить в виде:

$$x_k = A_k \sin(\omega t_k) \quad (5)$$

где:  $A_k$  — характеризует влияние шума квантования.

Если аппроксимировать нелинейность передаточной характеристики АЦП соотношением (3), то на выходе преобразователя мы получим последовательность выборок, описываемую соотношением

$$y_k = \sum_{i=0}^n a_i x_k^i = \sum_{i=0}^n a_i A_k^i \sin^i(\omega t_k). \quad (6)$$

Для упрощения примем, что исходный сигнал нормирован на единицу, то есть в (4)  $A = 1$ . Также пренебрежем искажениями, вызванными шумом квантования идеального аналого-цифрового преобразователя. В таком случае, в (6) можно положить все  $A_k = 1$ .

Далее рассмотрим представление степенного ряда вида

$$J_n(\alpha) = \sum_{k=1}^n a_k \sin^k \alpha \quad (7)$$

в виде суммы следующего вида:

$$J_n'(\alpha) = \sum_{k=1}^{n/2} a'_{2k+1} \sin[(2k+1)\alpha] + \sum_{k=0}^{n/2} a'_{2k} \cos(2k\alpha) \quad (8)$$

Задача — получить зависимость коэффициентов  $a'_k$  в (8) от  $a_k$  в (7).

Можно показать, что функция синус в четной степени выражается через сумму константы и косинусов, отвечающих четным гармоникам:

$$\sin^{2n} \alpha = a_{2n,0} + \sum_{k=1}^n a_{2n,k} \cos(2k\alpha) \quad (9)$$

Синус в нечетной степени выражается через сумму синусов, отвечающих нечетным гармоникам.

$$\sin^{2n+1} \alpha = \sum_{k=1}^n a_{2n+1,2k+1} \sin[(2k+1)\alpha] \quad (10)$$

(10) можно выразить через коэффициенты (9):

$$\begin{aligned} \sin^{2n+1} \alpha &= \left[ a_{2n,0} + \sum_{k=1}^n a_{2n,k} \cos(2k\alpha) \right] \sin \alpha = \\ &= a_{2n,0} \sin \alpha + \sum_{k=1}^n a_{2n,k} \cos(2k\alpha) \sin \alpha = \\ &= a_{2n,0} \sin \alpha + \sum_{k=1}^n \frac{a_{2n,k}}{2} \{ \sin[(2k+1)\alpha] - \sin[(2k-1)\alpha] \} \end{aligned} \quad (11)$$

Приравнявая коэффициенты в (10) и (11), получим, что:

$$a_{2n+1,2k+1} = \begin{cases} a_{2n,0} - \frac{a_{2n,1}}{2}, k = 0 \\ \frac{1}{2}(a_{2n,2k} - a_{2n,2k+2}), 0 < k < n \\ \frac{a_{2n,2n}}{2}, k = n \end{cases} \quad (12)$$

Аналогично можно получить соотношения для перехода от нечетной степени синуса к четной:

$$a_{2n+2,2k} = \begin{cases} \frac{a_{2n+1,1}}{2}, k = 0 \\ \frac{1}{2}(a_{2n+1,2k+1} - a_{2n+1,2k-1}), 0 < k < n+1 \\ -\frac{a_{2n,2n}}{2}, k = n+1 \end{cases} \quad (13)$$

Таким образом, получили рекуррентные соотношения, позволяющие выразить синус в степени  $n+1$  через коэффициенты соотношения для синуса в степени  $n$ .

Заметим, что соотношение (7) может быть представлено в виде:

$$J_n(\alpha) = \sum_{k=1}^n a_k \sin^k \alpha = J_{n-1}(\alpha) + a_n \sin^n \alpha \quad (14)$$

Таким образом, зная выражение для

$$J_1(\alpha) = J_1'(\alpha) = a_1 \sin \alpha \quad (15)$$

и соотношения (12) и (13) мы можем выразить ряд по степеням функции  $\sin \alpha$  через сумму гармонических составляющих. Причем для любого порядка  $n$ .

Используя соотношения (7), (12) и (13), можно найти разложение степенного ряда гармонических функций любого порядка, то есть искомую зависимость коэффициентов.

Исходя из полученных соотношений, можно сделать вывод, что отклик неидеального аналого-цифрового преобразователя на синусоидальный сигнал представляет собой сумму постоянной составляющей и гармоник, кратных несущей частоте исходного радиоимпульса.

Выполним преобразование Фурье соотношения (8). Обозначим через  $S_y$  — дискретное преобразование Фурье отклика, а через  $S_m$  — дискретное преобразование Фурье  $m$ -ой гармоники отклика:

$$S_y = \sum_{m=0}^n S_m. \quad (16)$$

Если нормировать значение спектра  $S_y$  на единицу, то можно заметить следующую простую закономерность:

$$a'_m = S_m(m\omega). \quad (17)$$

Исходя из полученных соотношений, можно построить последовательность шагов для реализации описываемой методики:

1. на вход аналого-цифрового преобразователя подается тестовый синусоидальный сигнал;
2. определяется спектральный состав полученного отклика;
3. спектр отклика нормируется на единицу;

4. вычисляются значения спектра отклика для нулевой частоты и первых  $n$  гармоник;

5. используя соотношения (12) и (13), вычисляются коэффициенты разложения для выражения (3);

6. полученные коэффициенты  $a_i$  используются для вычисления значений входного сигнала в рабочем режиме.

Таким образом, в данной работе приведен метод линеаризации характеристики преобразования аналого-цифровых преобразователей для любых порядков (3).

### **Список литературы:**

1. Бондарь М.С. Повышение Точности Процесса Аналого-Цифрового Преобразования. Материалы IV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научный потенциал студенчества в XXI веке» Том первый. Естественные и технические науки. Ставрополь: СевКавГТУ, 2010. — 582 с.
2. Грицутенко С.С., Панюков А.Г. Метод линеаризации характеристики преобразования АЦП. Известия Транссиба. — 2012. — № 3. — С. 78—83.
3. Melkonian L. Improving A/D Converter Performance Using Dither. USA: National Semiconductor, 1992. — 32 с.
4. Widrow B., Kollár I. Quantization Noise, Roundoff Error in Digital Computation, Signal Processing, Control, and Communications. — Cambridge: Cambridge University Press, 2008. — 752 с.

# ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ МЕТОДА ЛИНЕАРИЗАЦИИ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

*Панюков Алексей Геннадьевич*

*магистр, аспирант кафедры «Системы Передачи Информации»  
Омского Государственного Университета Путей Сообщения, г. Омск  
E-mail: [panukov\\_ag@mail.ru](mailto:panukov_ag@mail.ru)*

## EVALUATION OF COEFFICIENTS FOR METHOD OF LINEARIZATION OF THE TRANSMITTING CHARACTERISTIC OF THE ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

*Alexey Panyukov*

*Master, post-graduate of «Information Transmitting Systems» chair of  
Omsk State Transport University, Omsk*

### АННОТАЦИЯ

В данной работе рассматривается метод снижения собственного шума квантования аналого-цифрового преобразователя, основанный на вычислении скользящего среднего значения сигнала.

### ABSTRACT

In this paper described method of reducing overall quantization noise by moving signal averaging.

**Ключевые слова:** аналого-цифровой преобразователь; АЦП; дискретизация; интегральная нелинейность; дифференциальная нелинейность; спектральный анализ; линейаризация; передаточная характеристика; рекуррентные соотношения.

**Keywords:** analog-to-digital converter; ADC; digitization; integral nonlinearity; differential nonlinearity; linearization; transmitting characteristic; recurrence relations; spectral analysis.

Аналого-цифровое преобразование сигналов вносит искажения в исходный сигнал. Данные искажения связаны с конечностью шага квантования аналого-цифрового преобразователя и названы шумом

квантования [1, 3]. Целью данной работы является описание метода снижения шума квантования и определение критерия применимости данного метода.

В качестве алгоритма снижения шума квантования аналого-цифрового преобразователя предлагается рассмотреть метод вычисления скользящего среднего, примененный к выборкам сигнала. Опишем суть метода. Обозначим входной сигнал аналого-цифрового преобразователя  $x(t)$ . Допустим, выборки берутся в моменты времени  $t_k$ , тогда  $X_k$  — выборка входного сигнала, соответствующая значению  $x(t_k)$ . Ошибка квантования для конкретного отсчета вычисляется согласно соотношению (1)

$$e(t_k) = e_k = x(t_k) - X_k \quad (1)$$

Величину шума квантования можно описать его дисперсией. Известно, что дисперсия шума квантования описывается соотношением (2):

$$D(e) = \frac{q^2}{12} \quad (2)$$

Скользящее среднее вычисляется согласно соотношению (3):

$$\tilde{x}_k = C_N \sum_{j=-N}^N a_j X_{k+j} \quad (3)$$

В соотношении (3) коэффициенты  $a_j$  и  $C_N$  являются константами и не зависят от номера выборки  $k$ .

Шум квантования, соответствующий усредненному сигналу вычисляется с помощью выражения

$$\tilde{e}_k = x(t_k) - \tilde{x}_k = x(t_k) - C_N \sum_{j=-N}^N a_j X_{k+j} \quad (4)$$

Дисперсия ошибки в таком случае зависит от дисперсии сигнала:

$$D(\tilde{e}) = D(x) - C_N \sum_{j=-N}^N a_j D(X) = D(x) - D(X) C_N \sum_{j=-N}^N a_j \quad (15)$$

Метод вычисления скользящего среднего позволяет, при определенных условиях, снизить дисперсию шума квантования. Используя данные выражения для дисперсий можно ввести коэффициент  $\vartheta$ , равный отношению дисперсий шумов квантования после и до усреднения:

$$\vartheta = \frac{D(e)}{D(\tilde{e})} \quad (6)$$

Согласно определению, если при усреднении будет получена величина  $\vartheta$ , большая единицы, то усреднение ведет к уменьшению собственного шума квантования.

Было произведено моделирование процесса аналого-цифрового преобразования сигнала с последующим вычислением скользящего среднего. В качестве исходного сигнала использовался гармонический сигнал (7)

$$x(t) = \sin(\omega t + \varphi) \quad (7)$$

В качестве аналого-цифрового преобразователя использовался идеальный квантователь [2], не вносящий во входной сигнал никаких дополнительных искажений.

Основную сложность в построении модели представляет подбор коэффициентов в соотношении (3). Для этого были введены следующие ограничения на коэффициенты:

- Максимальное значение усредненного сигнала нормировано на максимальное значение входного сигнала.
- Влияние выборок в соотношении (3) с номерами  $k + j \neq k$  должно быть не больше, чем влияние выборки с номером  $k$ .
- Число точек для усреднения не должно покрывать больше одного периода исходного сигнала.

Для моделирования в качестве коэффициентов примем следующие значения:

$$a_j = \frac{1}{N} \quad (8)$$

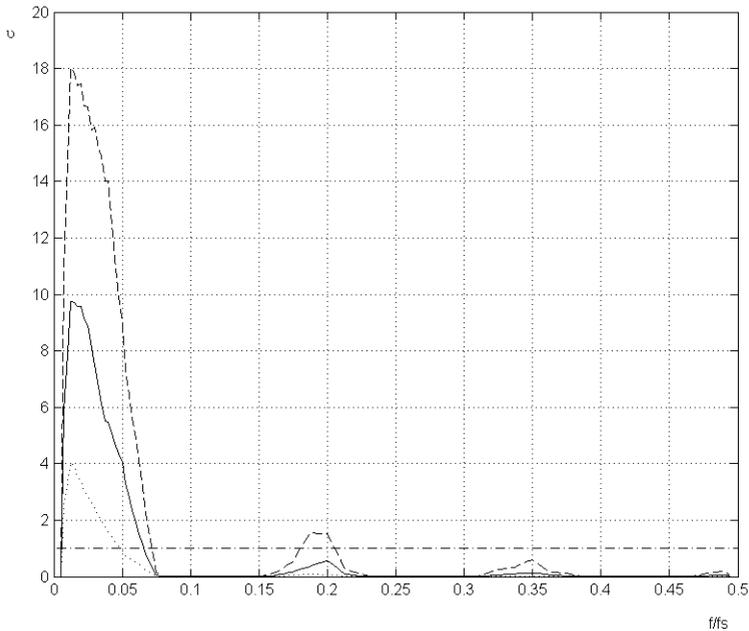
$$C_N = \frac{1}{\max(\tilde{x}_k)} \quad (9)$$

Соотношение (9) позволяет нормировать сигнал на единичный уровень. Более того, в условиях реального канала связи, если искать максимальное значение за ограниченный временной интервал, (9) позволит решить задачу автоматического регулирования усиления сигнала.

Для указанных коэффициентов были найдены зависимости коэффициента (6) от следующих параметров:

- Соотношение частот сигнала  $f$  и дискретизации  $f_s$
- Число выборок  $N$  для усреднения
- Разрядность аналого-цифрового преобразователя.

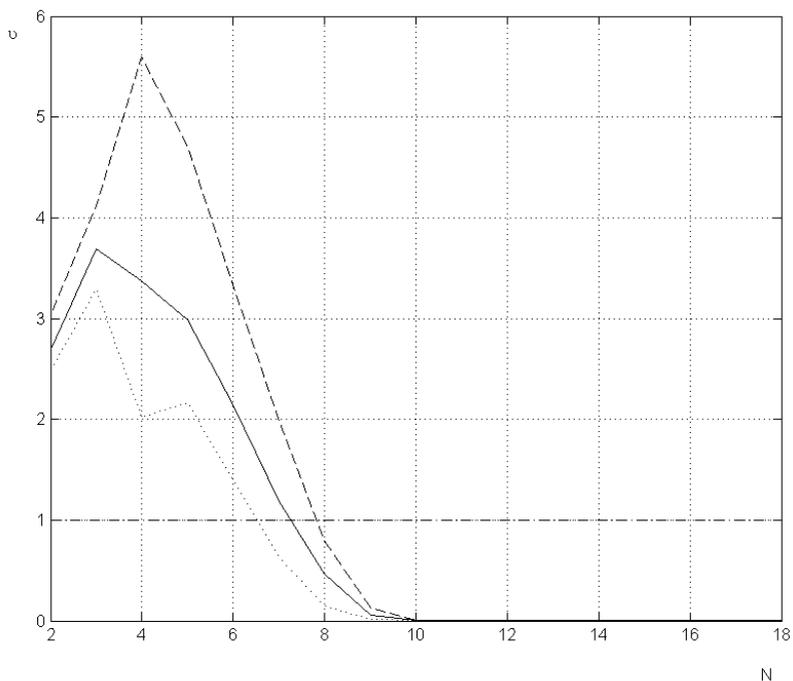
На рисунке 1 изображена зависимость коэффициента  $\vartheta$  от отношения частот  $\frac{f}{f_s}$ .



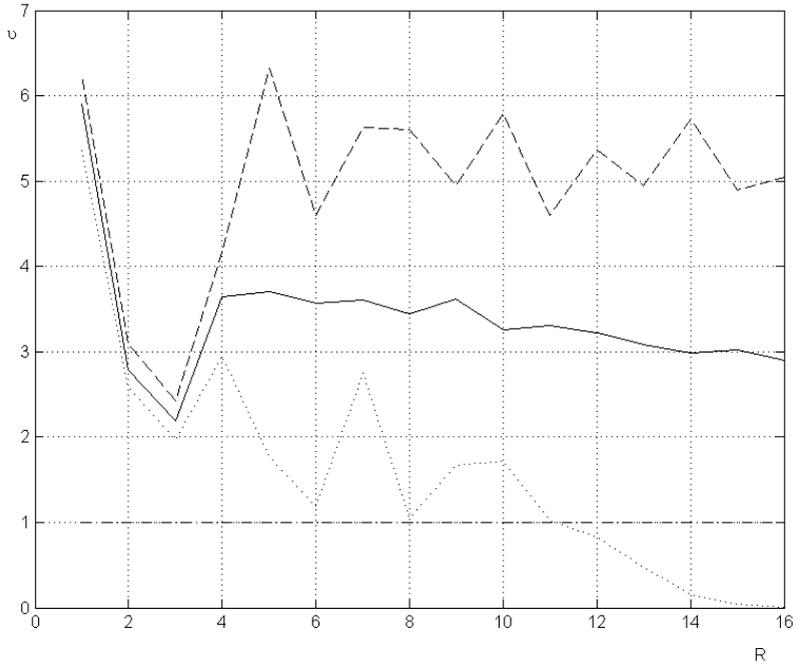
**Рисунок 1. Зависимость коэффициента  $\vartheta$  от соотношения частот сигнала и дискретизации**

На рисунке 1 показан результат серии модельных экспериментов. Сплошная линия — среднее значение коэффициента  $\vartheta$  по серии, пунктирная — максимальное, а точечная — минимальное. Штрихпунктирной линией отмечен единичный уровень.

На рисунке 2 показана зависимость коэффициента  $\vartheta$  от числа точек усреднения. Обозначения аналогичные рисунку 1.



**Рисунок 2. Зависимость коэффициента  $\vartheta$  от числа точек усреднения**



**Рисунок 3. Зависимость коэффициента  $\theta$  от разрядности АЦП**

Из полученных результатов можно сделать вывод, что усреднение понижает шум квантования при следующих условиях:

- Частота дискретизации не менее, чем в 15 раз больше частоты сигнала.
- Число точек усреднения не более 6.
- Разрядность аналого-цифрового преобразователя не более 10 бит.

Далее было проведено моделирование со следующими коэффициентами:

$$a_j = \frac{1}{|j|+1} \quad (10)$$

$$C_N = \frac{1}{\max(\tilde{x}_k)} \quad (11)$$

Графики, полученные в результате моделирования с учетом соотношений (10), (11) аналогичны рисункам 1—3, отличаются только граничные значения:

- Частота дискретизации не менее, чем в 10 раз больше частоты сигнала, при этом максимум  $\vartheta$  меньше на 10 %.
- Число точек усреднения не более 7, при этом максимум  $\vartheta$  меньше на 10 %.
- Разрядность аналого-цифрового преобразователя не более 12 бит, при этом максимум  $\vartheta$  меньше на 10 %.

Методом вычисления скользящего среднего можно значительно снизить собственный шум квантования сигнала. Для этого нужно удовлетворить условиям, полученным в результате моделирования. Кроме того для того, чтобы усреднение имело смысл необходимо расширять разрядность устройства, считывающего данные с аналого-цифрового преобразователя. Необходимое число разрядов — отдельная тема для исследований.

### **Список литературы:**

1. Бондарь М. С. Повышение Точности Процесса Аналого-Цифрового Преобразования. Материалы IV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научный потенциал студенчества в XXI веке» Том первый. Естественные и технические науки. Ставрополь: СевКавГТУ, 2010. — 582 с.
2. Melkonian L. Improving A/D Converter Performance Using Dither. USA: National Semiconductor, 1992. — 32 с.
3. Widrow B., Kollár I. Quantization Noise, Roundoff Error in Digital Computation, Signal Processing, Control, and Communications. — Cambridge: Cambridge University Press, 2008. — 752 с.

# ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ МЕТОДА ЛИНЕАРИЗАЦИИ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

*Панюков Алексей Геннадьевич*

*магистр, аспирант кафедры «Системы Передачи Информации»  
Омского Государственного Университета Путей Сообщения, г. Омск  
E-mail: [panyukov\\_ag@mail.ru](mailto:panyukov_ag@mail.ru)*

## EVALUATION OF COEFFICIENTS FOR METHOD OF LINEARIZATION OF THE TRANSMITTING CHARACTERISTIC OF THE ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

*Alexey Panyukov*

*Master, post-graduate of «Information Transmitting Systems» chair of  
Omsk State Transport University, Omsk*

### АННОТАЦИЯ

В данной работе рассматриваются методы линеаризации передаточной характеристики аналого-цифровых преобразователей, основанные на спектральном анализе и на методе наименьших квадратов. Дается их сравнительная характеристика.

### ABSTRACT

This paper discusses the methods of linearization transfer characteristic of the analog-to-digital converters based on the spectral analysis and the method of least squares. Given a comparative description of these methods.

**Ключевые слова:** аналого-цифровой преобразователь; АЦП; дискретизация; интегральная нелинейность; дифференциальная нелинейность; спектральный анализ линеаризация; передаточная характеристика.

**Keywords:** analog-to-digital converter; ADC; digitization; integral nonlinearity; differential nonlinearity; linearization; transmitting characteristic; spectral analysis.

В данной работе дается сравнительная характеристика двух методов линеаризации передаточной характеристики аналого-цифровых преобразователей. Описание данных методик приведено в работах [2, 4, 5]. Кратко остановимся на их сути.

Спектральный метод линеаризации передаточной характеристики.

Спектральный метод линеаризации передаточной характеристики основан на спектральном анализе отклика аналого-цифрового преобразователя на тестовый сигнал. Исходя из спектрального состава отклика, строится аппроксимация нелинейной передаточной характеристики полиномом определенного порядка  $n$ .

Метод линеаризации, основанный на методе наименьших квадратов.

Метод линеаризации, основанный на методе наименьших квадратов, так же своей целью ставит аппроксимацию нелинейной передаточной характеристики полиномом определенного порядка  $n$ . Но в этом случае анализируется сам сигнал, а не его спектр.

Для сравнения рассмотрим задачу аппроксимации нелинейности передаточной характеристики полиномом степени  $m=5$  обоими методами.

Рассмотрим некоторый тестовый сигнал, в результате аналого-цифрового преобразования которого мы получаем  $n=1024$  выборков для анализа.

Считаем, что все действия выполняются последовательно — нет распараллеливания вычислительных потоков.

Оба метода состоят из двух этапов. Первый этап — **подготовительный**. На этом этапе на основе анализа входного и выходного сигналов строится аппроксимация передаточной характеристики. Второй этап — **рабочий**. На нем полученная на первом этапе аппроксимация используется для устранения нелинейности аналого-цифрового преобразователя. На втором этапе затраты вычислительных мощностей одинаковы, так как в обоих случаях строится гипотеза об истинном значении сигнала, используя полином одинаковой (в нашем случае) степени.

**Первая задача** данной работы — оценить зависимость затрат вычислительных ресурсов от разрядности аппроксимирующего полинома и от числа отсчетов выходного сигнала, взятых для анализа.

**Вторая задача** — сравнить точность восстановления сигнала обоими методами. **Третья задача** — дать сравнительную характеристику описанных методик по результатам анализа первых двух задач.

Оценка затрат вычислительных ресурсов. Метод, основанный на МНК.

В основе метода, базирующегося на методе наименьших квадратов, лежит построение и решение системы уравнений (1):

$$\sum_{k=0}^m a_k E_{k,j} - R_j = 0 \quad (1)$$

где:  $E_{k,j}$  и  $R_j$  — вычисляются согласно (2), а  $a_k$  — искомые коэффициенты аппроксимирующего полинома.

$$E_{k,j} = \sum_{i=1}^n (x'_i)^{k+j} \quad (2)$$

$$R_j = \sum_{i=1}^n x_i (x'_i)^j$$

Как видно из приведенных соотношений, основные операции, производимые при вычислении коэффициентов — вычисление степени и накопление результата, а так же решение системы линейных алгебраических уравнений.

Оценим количество операций умножения, необходимых для построения аппроксимирующего полинома. Операции сложения много менее ресурсоёмки, соответственно их учитывать не будем.

Реализация данного метода на подготовительном этапе состоит также из двух этапов — построение СЛАУ и его решение. Вычислим количество операций умножения ( $N$ ), затрачиваемых на вычисление каждого коэффициента в (2):

$$N(E_{ij}) = n(k + j - 1) \quad (3)$$

$$N(R_j) = n(j - 1 + 1) = nj$$

Соответственно, на все коэффициенты затрачивается:

$$N(E) + N(R) = \sum_{k=0}^m \sum_{j=0}^m n(k + j - 1) + \sum_{j=0}^m nj \quad (4)$$

После упрощения и применения формул суммы арифметической прогрессии имеем:

$$N = nm^3 + n \frac{m^2}{2} \quad (5)$$

Согласно [1] число операций умножения, требуемых для решения СЛАУ прямыми методами (то есть точно), пропорционально размерности системы в третьей степени  $m^3$ . В нашем случае, так как  $n \gg m$ , значит, оценкой затрат на вычисление решения можно пренебречь. В таком случае, оценка числа операций, необходимых для нахождения коэффициентов аппроксимирующего полинома методом линеаризации, основанным на МНК, выглядит следующим образом:

$$N = nm^3 \quad (6)$$

Оценка затрат вычислительных ресурсов. Метод, основанный на спектральном анализе.

Согласно определению метода, для построения аппроксимирующего полинома требуется вычисление преобразования Фурье сигнала, полученного с выходов аналого-цифрового преобразователя и формирование коэффициентов из гармоник сигнала.

Согласно [3], оценка числа операций для вычисления БПФ выглядит следующим образом:

$$N = n \log_2(n) \quad (7)$$

Числом операций на формирование полинома можно пренебречь по сравнению с **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

#### **Сравнение методик по затратам вычислительных ресурсов.**

Исходя из соотношений (6) и (7), можно сделать вывод, что второй метод требует затрат вычислительных ресурсов на порядок меньше. При вычислении аппроксимирующего полинома по указанным в начале работы исходным данным получим в первом случае  $N \sim 1024 \times 5^3 = 128000$  операций, во втором случае —  $N \sim 10240$  операций.

#### **Сравнение методик по точности построения аппроксимирующего полинома.**

Для сравнения методик использовались следующие параметры сигнала и аналого-цифрового преобразователя:

1. сигнал — отрезок синусоиды в полосе пропускания АЦП
2. разрядность АЦП — 12 бит
3. степень полинома — 5

4. число отсчетов тестового сигнала — 1024

Данные сравнения по точности восстановления аппроксимирующего полинома указаны в таблице.

*Таблица 1.*

**Ошибка восстановления передаточной характеристики АЦП**

<b>Метод</b>	<b>Относительная ошибка, %</b>
Основанный на МНК	0,01
Спектральный	1,26

Таким образом, можно сделать вывод, что спектральный метод линеаризации менее точен, чем метод, основанный на МНК.

**Список литературы:**

1. Баландин М.Ю. Методы решения СЛАУ большой размерности. / М.Ю. Баландин., Э.П. Шурина. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. — 70 с.
2. Грицутенко С.С., Панюков А.Г. Метод линеаризации характеристики преобразования АЦП. Известия Транссиба. — 2012. — № 3. — С. 78—83.
3. Малозёмов В.Н.. Подсчёт количества арифметических операций при вычислении БПФ. Семинар по дискретному гармоническому анализу и геометрическому моделированию (DHA & CAGD). — СПб, 2005.
4. Панюков А.Г. Метод линеаризации передаточной характеристики аналого-цифрового преобразователя, основанный на методе наименьших квадратов. Труды XI международной заочной научно-практической конференции Технические науки — от теории к практике. — 2012. — С. 107—112.
5. Панюков А.Г. Моделирование метода линеаризации передаточной характеристики аналого-цифрового преобразователя при воздействии белого шума. Труды XII международной заочной научно-практической конференции Технические науки — от теории к практике. — 2012. — С. 81—86.

## СЕКЦИЯ 7.

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

#### ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИВОДОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ШТОКА

*Геча Владимир Яковлевич*

*д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ», г. Москва*

*Мильшин Алексей Юрьевич*

*аспирант каф. ЭМ ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ», г. Москва*

*E-mail: [milshinau@mail.ru](mailto:milshinau@mail.ru)*

#### FINITE ELEMENT MODELS FOR DESIGN DRIVE OF ELECTROMAGNETIC DOSING DEVICES WITH DIFFERENT ROD FORMS

*Vladimir Gecha*

*D. Sc., prof. MPEI, Moscow*

*Alexey Milshin*

*Ph.D. student of Electromechanical dep. MPEI, Moscow*

#### АННОТАЦИЯ

В публикации показаны особенности расчета привода электромагнитного дозирующего устройства. Приведены допущения и требования, предъявляемые к таким устройствам. Представлена геометрия и графические зависимости тягового усилия и времени движения от координаты по перемещению для устройств с различной формой штока. Сформулированы выводы.

## ABSTRACT

The article shows the features of calculation of electromagnetic dosing device drive. Given the assumptions and requirements for such devices. Represented geometry and figure of traction and motion time from move coordinate. Conclusions.

**Ключевые слова:** дозирующее устройство; дозатор; рабочий орган; шток; система дозирования.

**Keywords:** dosing device; dispenser; working body; rod; dosing system.

В последнее время активно развиваются технологии высокоскоростного дозирования жидкостей и газов. В связи с чем, особо остро встала проблема поиска оптимальных принципов и способов управления, конструирования, проектирования и усовершенствования приводов дозирующих устройств. Среди требований, предъявляемые к высокоскоростным дозирующим устройствам, следует выделить: надежность, долговечность, производительность, точность, быстродействие и низкую стоимость изготовления, а также минимальные затраты на эксплуатацию. Типы приводов дозаторов весьма разнообразны, например: электромагнитный, гидравлический, пневматический, пьезоэлектрический, электродинамический и их комбинации. В дозирующих устройствах, в которых требуется высокая частота подачи доз, наиболее целесообразно использовать приводы электромагнитного типа. Ниже приведены требования, предъявляемые к приводам электромагнитного типа, а именно: частоты срабатывания (1—500 Гц), рабочая температура (–200—600°С), рабочее давление (0—250 МПа).

Разработку и исследование вопросов проектирования электромагнитных механизмов, расчета их магнитных систем [2, с. 77, 92, 103], исследования динамики [2, с. 393] различных устройств с электромагнитным приводом, принято связывать с именами следующих ученых: А.М. Ашавского, А.В. Гордона, М.А. Любчика, Б.Ф. Симонова, В.С. Шейнбаума и др. Среди вопросов, освещенных ими в своих работах, нас наиболее заинтересовали следующие: разработка математических моделей и методик расчета электромагнитных приводов различного конструктивного исполнения [3, с. 47], расчет динамических режимов в электромагнитных механизмах.

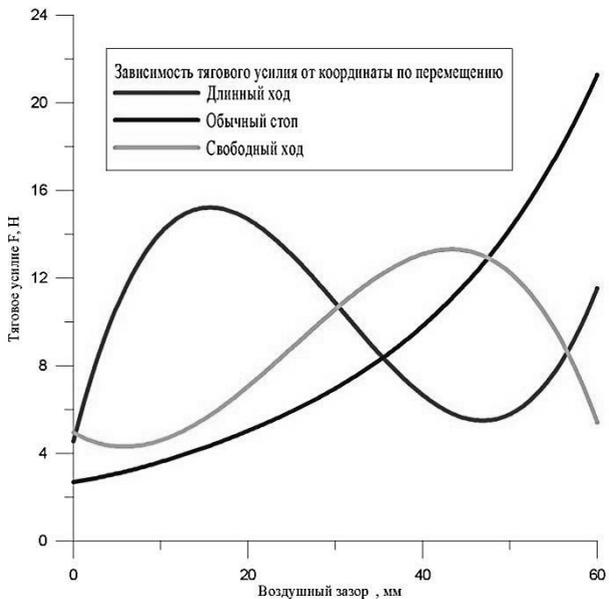
Однако, большинство методов расчета применяемых авторами относятся к цепным методам, которые можно считать традиционными для расчета электромагнитных систем. Такие методы применяются

достаточно успешно и по настоящее время, но при расчете дают несколько большие погрешности, чем полевые методы.

К современным методам расчета приводов электромагнитных дозирующих устройств, стоит отнести полевые методы. Работы Й. Виттенберга, И.П. Иванова, Н.Г. Лысова и ряда других основаны на теории электромагнитного поля и уравнениях Максвелла [1, с. 257]. Полевые методы расчета базируются на универсальных методах численного решения краевых задач, а именно: метод конечных разностей (МКР) и метод конечных элементов (МКЭ). Эти методы сводят решение краевых задач к решению систем алгебраических уравнений, однако для эффективного использования этих методов необходимо четко обозначить границы расчетной области. Метод конечных элементов следует относить к математическому способу численного решения задач, описываемых дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных.

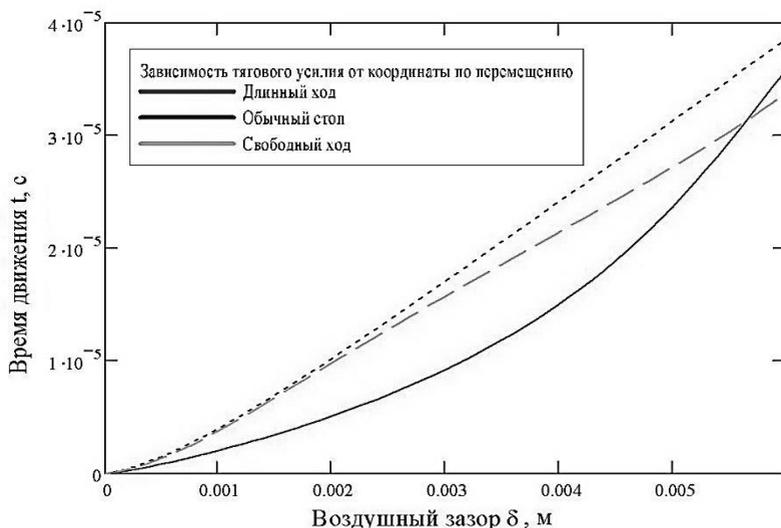
Таким образом, мы считаем, что применение метода конечных элементов для расчета привода электромагнитного дозирующего устройства, как наиболее современного метода расчета, может дать хорошие результаты. В качестве программы для проведения такого расчета предлагается воспользоваться программой Elcut, назначением которой является расчет магнитных полей методом конечных элементов. В работе мы будем рассматривать 3 конструкции привода электромагнитного дозирующего устройства: со свободным ходом, со стопом и с длинным ходом. Зададимся их геометрическими параметрами, на рисунке 1 приведены соответствующие чертежи устройств.





**Рисунок 2. Полиномиальные зависимости тягового усилия от координаты по перемещению.**

Полученные полиномиальные зависимости для тягового усилия были использованы для построения зависимости времени движения штока привода электромагнитного дозирующего устройства от координаты по перемещению (рисунок 3).



**Рисунок 3. Зависимости времени движения от координаты по перемещению**

Графические зависимости, представленные на рисунке 3, позволяют провести анализ динамических параметров привода электромагнитного дозатора. Предварительное сравнение результатов расчет значений времени движения в точке 6 мм, показало, наилучшим исполнением для привода электромагнитного дозирующего устройства является «со свободным ходом».

По результатам работы, сформулированы следующие выводы:

1. Наилучшим исполнением для привода электромагнитного дозирующего устройства является исполнение — «со свободным ходом».
2. Эффективность предложенного способ расчета привода электромагнитного дозирующего устройства, с применением моделирования методом конечных элементов в программе Elcut, подтверждается расчетом нескольких разных исполнений для привода электромагнитного дозирующего устройства.

### Список литературы:

1. Виттенбург Й. Динамика систем твердых тел. М.: Мир, — 1980.
2. Гордон А.В, Сливинская А.Г. Электромагниты постоянного тока. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1960. 447 с.
3. Любчик М.А. Силовые электромагниты аппаратов и устройств автоматики постоянного тока. М.: “Энергия”, 1968. — 152 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ В СРЕДЕ  
MATLAB SIMULINK ТРЕХФАЗНОГО  
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
В АВАРИЙНОМ ДВУХФАЗНОМ  
РЕЖИМЕ РАБОТЫ**

***Однокопылов Георгий Иванович***

*канд. техн. наук, докторант ТПУ, г. Томск*

*E-mail: [OGIz@yandex.ru](mailto:OGIz@yandex.ru)*

***Брагин Александр Дмитриевич***

*студент, ТПУ, г. Томск*

*E-mail: [lfenylol@gmail.com](mailto:lfenylol@gmail.com)*

**RESEARCH IN THE MATLAB SIMULINK  
THREE-PHASE INDUCTION MOTOR  
DRIVE UNDER OPEN PHASE FAULTS**

***Georgy Odnokopilov***

*Candidate of Engineering Sciences, TPU, Tomsk*

***Aleksander Bragin***

*Student of TPU, Tomsk*

**АННОТАЦИЯ**

Исследован трехфазный асинхронный двигатель в двухфазном аварийном режиме работы. Представлена имитационная модель, приведены временные диаграммы.

**ABSTRACT**

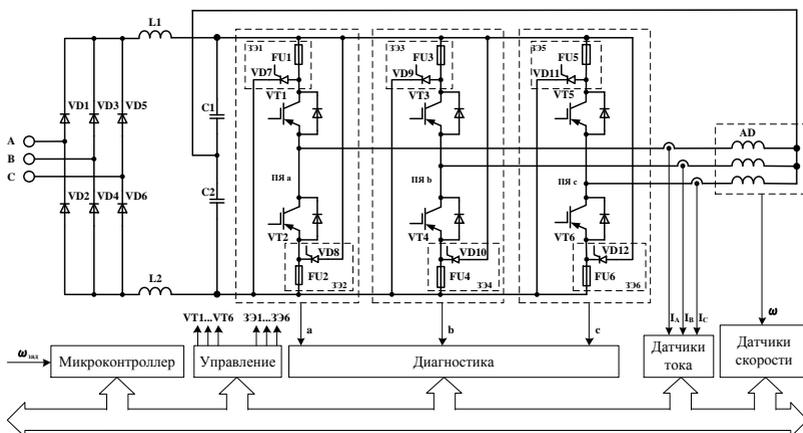
Investigated three-phase induction motor under open phase faults. Presented simulation model, show the timing chart.

**Ключевые слова:** живучесть; асинхронный электропривод; способы обеспечения живучести; отказ электропривода.

**Keywords:** fault-tolerant; induction motor drive; methods of providing fault-tolerant; faults of electric drive.

Для электроприводов в составе опасных производственных объектов: ядерные, военные, химические, строительные, металлургические, транспортные, в том числе трубопроводный транспорт — целесообразно применение отказоустойчивого управления с обеспечением свойства «живучести». Аварийный выход из строя таких электроприводов может привести к нарушению безопасной эксплуатации оборудования с риском для персонала с большими экономическими потерями.

На рис. 1 изображена функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода с обеспечением свойства живучести при аварийном отключении одной из фаз двигателя или преобразователя частоты.



**Рисунок 1. Функциональная схема асинхронного электропривода со свойством живучести**

Для организации аварийного двухфазного режима работы трехфазного АД в случае обрыва одной из фаз необходимо обеспечить равенство амплитудных значений токов в двух оставшихся фазах и обеспечить угол временного сдвига токов обмоток трехфазной электрической машины  $\beta = \pi/3$ . Эти два условия определяют сохранение кругового вращающегося магнитного поля. Равенство амплитудных значений токов может быть обеспечено наличием в структуре электропривода контура тока, а временной сдвиг токов обмоток трехфазной электрической машины  $\beta = \pi/3$  выполнить в программе микроконтроллера.

Модель [3] выполнена с использованием среды программирования Delphi и дает возможность исследовать аварийный двухфазный режим с различными алгоритмами восстановления работоспособности, но не позволяет адаптировать этот программный продукт к среде Matlab Simulink.

При исследовании несимметричных машин, при исследовании машин с учетом пространственных гармоник или при несинусоидальных напряжениях приводить машину к двухфазной неправомерно, так как поля в зазоре двухфазной и многофазной машинах в этих условиях отличаются друг от друга. В связи с этим для моделирования аварийного двухфазного режима работы АД была взята модель обобщенной трехфазной машины в неподвижной трехфазной системе координат [1].

Алгоритм восстановления работоспособности [2] при отказе в одной из фаз обеспечивается микроконтроллером, который формирует задания на фазные токи  $I_A, I_B, I_C$  для опережающей фазы вектора тока:

$$\begin{aligned} I_A &= I_\omega \cdot \bar{a} \cdot \sin((2^\sigma - 1 - \alpha) \cdot \bar{d} + \alpha \cdot d \pm \pi \cdot b); \\ I_B &= I_\omega \cdot \bar{b} \cdot \sin((2^\sigma - 1 - \alpha) \cdot \bar{d} + \alpha \cdot d \pm \pi \cdot c + 2\pi/3); \\ I_C &= I_\omega \cdot \bar{c} \cdot \sin((2^\sigma - 1 - \alpha) \cdot \bar{d} + \alpha \cdot d \pm \pi \cdot a + 4\pi/3); \end{aligned} \quad (1)$$

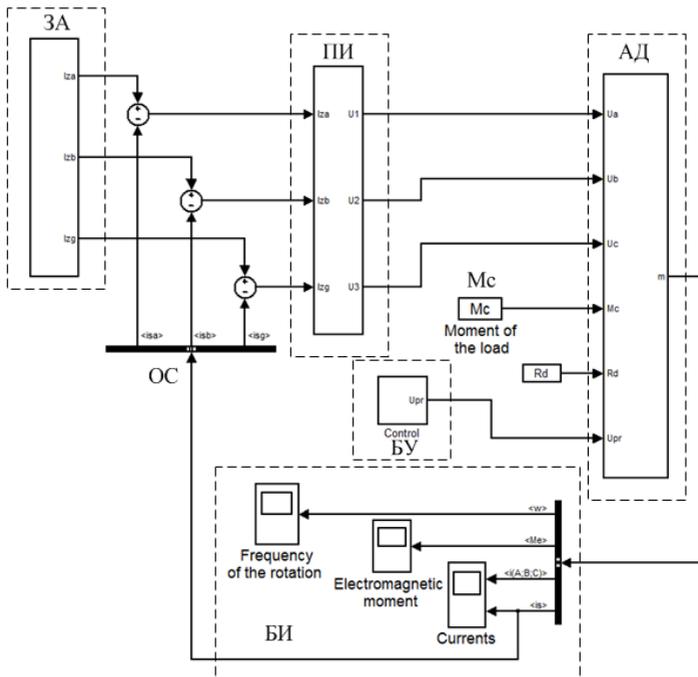
для отстающей фазы вектора тока:

$$\begin{aligned} I_A &= I_\omega \cdot \bar{a} \cdot \sin((2^\sigma - 1 - \alpha) \cdot \bar{d} + \alpha \cdot d \pm \pi \cdot c); \\ I_B &= I_\omega \cdot \bar{b} \cdot \sin((2^\sigma - 1 - \alpha) \cdot \bar{d} + \alpha \cdot d \pm \pi \cdot a + 2\pi/3); \\ I_C &= I_\omega \cdot \bar{c} \cdot \sin((2^\sigma - 1 - \alpha) \cdot \bar{d} + \alpha \cdot d \pm \pi \cdot b + 4\pi/3); \end{aligned} \quad (2)$$

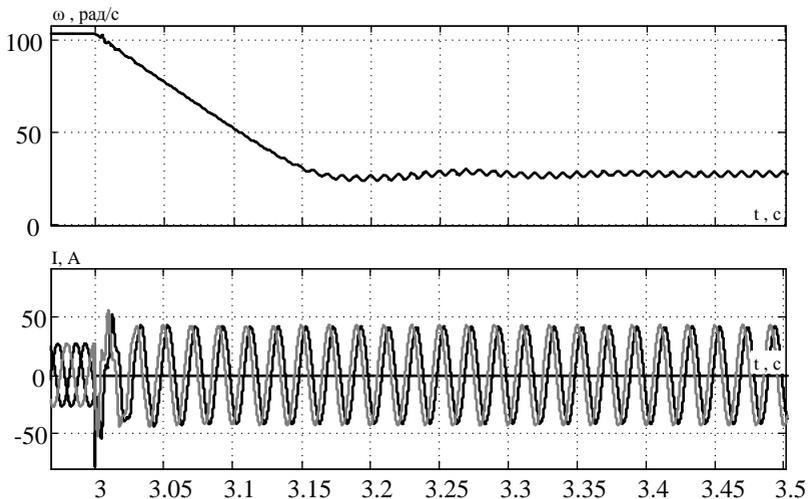
В выражениях (1, 2) обозначено:  $I_\omega$  — значение амплитуды формируемых фазных токов;  $\alpha$  — значение текущего кода датчика положения ротора;  $\sigma$  — число двоичных разрядов выходного кода датчика положения ротора;  $\omega$  — частота вращения (рад/с); a, b, c — значение битов слова состояния электропривода по отказам (вырабатываются датчиками состояния преобразовательных ячеек); d — значение бита, вычисляемого по логическому выражению  $d = a \cup b \cup c$  ( $\cup$  — логическая операция ИЛИ), если d=1 — есть отказ в одной из фаз;  $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d}$  — инверсные значения a, b, c, d. В случае  $a = b = c = d = 0$ ,  $\bar{a} = \bar{b} = \bar{c} = \bar{d} = 1$  система

управления работает в трехфазном режиме и логическое умножение на соответствующий бит отказа a, b, c значения  $\pm\pi$  (в приведенных выше выражениях) обеспечивает формирование фазового сдвига тока  $\pi/3$  в двухфазном режиме. Если один из битов отказа не нулевой — в оставшихся фазах реализуется алгоритм восстановления, а в отказавшую фазу управление не поступает (обеспечивается логическим умножением на соответствующий инверсный бит отказа  $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}$ , который принимает нулевое значение).

Для моделирования был выбран двигатель МТФ 311-6. Модель электропривода (рис. 2) включает в себя блок задания амплитуды и фазового сдвига векторов тока (ЗА), блок ПИ-регулятора тока (ПИ), асинхронный двигатель (АД), блок управления (БУ), формирующий сигнал обрыва фазы, а также измерительный блок, с помощью которого снимаются токи статора и ротора, электромагнитный момент и частота вращения вала АД.



**Рисунок 2. Структурная схема асинхронного электропривода в Matlab Simulink**



**Рисунок 3. Временные диаграммы перехода АД из трехфазного режима в двухфазный при обрыве фазы А**

Из приведенных на рис. 3 временных диаграмм переходных процессов, происходящий в АД при переходе в двухфазный режим работы видно, что при использовании алгоритма восстановления при номинальной нагрузке двигатель продолжит работу, но с меньшей скоростью вращения, составляющей 30 % от номинальной. Время переходного процесса составляет 0,14 секунды.

### **Список литературы:**

1. Однокопылов Г.И., Однокопылов И.Г. Обеспечение живучести электродвигателей переменного тока: Монография. — Томск: Изд-во ТПУ, 2005. — 187 с.
2. Патент РФ на изобретение № 2326480, МПК H02H 7/09, H02H 7/12, Способ управления и обеспечения живучести трёхфазного асинхронного двигателя / Г.И. Однокопылов, И.Г. Однокопылов, — № 2007112527; заявлено 04.04.2007 г.; опубл. 10.06.2008 г. Бюл. № 16.
3. Свидетельство РФ о регистрации программы для ЭВМ № 2005612119 «Программа расчета переходных процессов асинхронного двигателя с электромагнитным тормозным устройством».

## **СЕКЦИЯ 8.**

### **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ**

#### **ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СОТОВОГО ПОЛИКАРБОНАТА**

*Завьялов Артем Юрьевич*

*аспирант УГЛТУ, г. Екатеринбург*

*E-mail: [z.artem96@gmail.com](mailto:z.artem96@gmail.com)*

*Старжинский Валентин Николаевич*

*д-р. техн. наук, профессор УГЛТУ, г. Екатеринбург*

*E-mail: [z.artem96@gmail.com](mailto:z.artem96@gmail.com)*

#### **SOUND PROOFING PROPERTIES OF CONSTRUCTIONS MADE OF POLYCARBONATE**

*Artem Zavyalov*

*Graduate student of Ural State Forest Engineering University,*

*Yekaterinburg*

*Valentin Starzhinsky*

*Doctor of Engineering Science, Professor of Ural State Forest Engineering*

*University, Yekaterinburg*

#### **АННОТАЦИЯ**

В статье освещаются результаты проведенного эксперимента по определению звукоизоляции конструкций из сотового поликарбоната с воздушным промежутком.

## ABSTRACT

In the article there are given the results of experiment made with a purpose to define the sound proofing of polycarbonate constructions with an air gap.

**Ключевые слова:** сотовый поликарбонат; звукоизоляция.

**Key words:** polycarbonate; sound proofing.

Последние два десятка лет широко в промышленности стал использоваться для различных целей новый конструкционный материал — сотовый поликарбонат.

Сотовый поликарбонат — это лист полимерного материала ячеистой структуры. Материал представляет собой два слоя, соединенных между собой большим количеством внутренних ребер, называемых ребрами жесткости. Готовый образец напоминает соты [3].

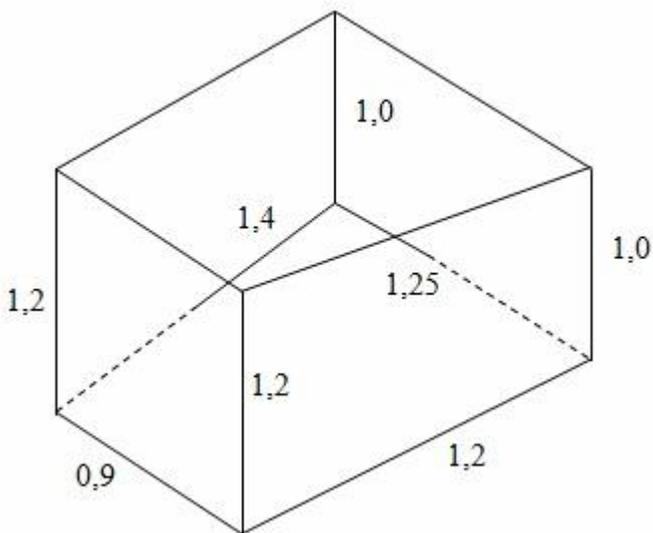
Сотовый поликарбонат с учетом его звукоизолирующих, оптических и технологических качеств следует считать перспективным звукоизолирующим материалом для промышленной звукоизоляции.

В рекламных материалах фирм производителей и продавцов сотового поликарбоната приводятся противоречивые данные об его акустических характеристиках. Даются отрывочные сведения о звукоизоляции, и нет данных о его звукопоглощении.

Для проектирования шумозащитных конструкций из сотового поликарбоната (перегородок, кожухов, экранов) необходимы сведения о его акустических свойствах, поэтому на кафедре охраны труда Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ) были проведены исследования по определению этих свойств.

Результаты измерения коэффициентов звукопоглощения сотового поликарбоната показали, что он не может быть отнесен к звукопоглощающим материалам (коэффициент звукопоглощения  $\sim 0,01$ ). Поэтому при использовании его в конструкциях звукоизоляции и экранирования звукопоглощение можно не учитывать [4].

Для определения звукоизоляции конструкций из сотового поликарбоната использовалась малая реверберационная камера, спроектированная в УГЛТУ (Рис. 1).



**Рисунок 1. Схема реверберационной камеры**

Форма камеры — прямая четырехугольная призма, усеченная не параллельно основанию. В основании призмы — неправильный четырехугольник с непараллельными сторонами [2].

Поверхность стенок камеры отшлифована и покрыта лаком. Стенки изготовлены из сосновых досок толщиной 50 мм. Звукоизоляция стенок камеры выбиралась из условия, при котором уровень звукового давления установившегося звука в камере при возбуждении громкоговорителя на частоте 500 Гц более чем на 30 дБ выше уровня помех [1].

Камера имеет сквозное отверстие в одной из стенок для установки измерительного микрофона. Внутри установлен источник шума, создающий диффузное поле.

Образец листа сотового поликарбоната устанавливался вместо крышки камеры и закреплялся. Далее с помощью сосновых брусков задавался необходимый воздушный промежуток. Сверху на бруски устанавливался второй лист. После этого включался источник шума, генерирующий белый шум, и производились замеры уровней звукового давления внутри камеры и снаружи над образцом. Замеры внутри и снаружи камеры производились одновременно с помощью прибора Октава 110 А.

Измерения производились в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 250—8000 Гц. Обусловлено это тем, что на частотах ниже 250 Гц в реверберационной камере не создается диффузное поле.

Звукоизоляция конструкций из сотового поликарбоната  $R$  определялась по формуле (1):

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{TS}{0,16V}, \quad (1)$$

где:  $V$  — объем помещения, в котором проводились измерения,  $\text{м}^3$ ;

$T$  — время реверберации помещения, с;

$S$  — площадь образца, у которого измерялась звукоизоляция,  $\text{м}^2$ ;

$L_1, L_2$  — уровни звукового давления внутри и снаружи камеры соответственно.

Перепишем формулу (1) в виде:

$$R = X + Y + C, \quad (2)$$

где:  $X = L_1 - L_2$  — перепад уровней звукового давления между помещением и реверберационной камерой;

$Y = 10 \lg T$  — реверберационная поправка по результатам измерения в помещении;

$C = 10 \lg \frac{S}{0,16V}$  — постоянная для данного помещения величина.

Данные по реверберационной поправке и постоянной величине для помещения, в котором производились замеры, приведены в табл. 1.

**Таблица 1.**

**Данные по реверберационной поправке и постоянной величине для помещения, в котором производились замеры**

Частота, Гц	250	500	1000	2000	4000	8000
Постоянная величина	-8,56	-8,56	-8,56	-8,56	-8,56	-8,56
Реверберационная поправка	-0,56	4,20	4,93	-2,76	-3,01	-4,81

Для планирования эксперимента был выбран полный факторный план. Исследуемые факторы и уровни их варьирования представлены в табл. 2.

**Таблица 2.**

**Исследуемые факторы и уровни их варьирования**

Наименование фактора	Обозначение		Уровень варьирования фактора		
	Натур.	Нормал.	Нижн.	Основн.	Верхн.
Толщина нижнего листа сотового поликарбоната	$T_1$ , мм	$Z_1$	4	8	16
Толщина верхнего листа сотового поликарбоната	$T_2$ , мм	$Z_2$	4	8	16
Толщина воздушного промежутка между листами*	$H$ , мм	$Z_3$	20	45	65

\* Такие размеры воздушного промежутка были выбраны из-за конструктивных особенностей шумозащитных перегородок, кожухов, экранов.

С целью уменьшения случайных погрешностей эксперимента и повышения точности получаемой регрессионной модели применялось равномерное дублирование опытов. Каждый опыт повторялся 5 раз.

Матрица плана эксперимента с натуральными значениями входных факторов и средними арифметическими результатами эксперимента представлена в табл. 3.

Таблица 3.

**Матрица плана с натуральными значениями входных факторов  
и результатами эксперимента**

№ опыта	Входные факторы			Значения звукоизоляции, дБ на среднегеометрических частотах, Гц					
	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	250	500	1000	2000	4000	8000
				Y <sub>1</sub> , дБ	Y <sub>2</sub> , дБ	Y <sub>3</sub> , дБ	Y <sub>4</sub> , дБ	Y <sub>5</sub> , дБ	Y <sub>6</sub> , дБ
1	4	4	20	4,37	11,99	11,82	5,40	12,59	15,15
2	4	4	45	4,25	8,41	10,14	7,28	13,44	15,65
3	4	4	65	5,97	12,93	12,98	10,04	12,65	14,78
4	4	8	20	7,77	15,35	15,20	13,83	16,13	15,74
5	4	8	45	4,80	10,75	13,97	11,18	17,05	16,49
6	4	8	65	10,54	16,98	20,36	18,26	22,75	20,98
7	4	16	20	10,50	21,55	19,02	11,50	10,75	21,77
8	4	16	45	9,67	20,31	20,52	15,39	17,29	24,94
9	4	16	65	7,89	12,60	19,54	16,43	20,03	23,61
10	8	4	20	9,49	16,07	16,22	13,78	15,97	17,90
11	8	4	45	7,98	16,37	17,19	14,34	18,17	19,01
12	8	4	65	5,38	11,77	16,73	13,02	16,74	17,31
13	8	8	20	8,83	15,73	15,34	13,02	16,04	15,22
14	8	8	45	6,02	10,97	18,31	13,05	16,01	14,13
15	8	8	65	7,29	14,00	20,11	15,70	18,21	14,08
16	8	16	20	10,96	20,00	20,56	15,93	15,62	22,56
17	8	16	45	10,23	19,11	23,53	19,29	19,38	22,48
18	8	16	65	8,73	18,06	23,13	17,99	18,72	22,66
19	16	4	20	9,71	17,00	18,86	14,60	16,51	25,11
20	16	4	45	10,05	16,59	20,58	15,63	16,34	25,45
21	16	4	65	8,87	15,77	21,50	16,17	17,54	26,09
22	16	8	20	11,11	17,32	20,03	16,35	17,90	25,12
23	16	8	45	9,47	15,49	21,53	17,20	17,60	24,93
24	16	8	65	10,17	19,21	24,18	19,93	19,59	25,05
25	16	16	20	11,26	17,57	20,75	16,37	17,49	28,65
26	16	16	45	11,02	19,34	25,00	18,01	18,02	28,61
27	16	16	65	11,66	21,95	25,50	18,52	18,62	28,13

Для получения экспериментально-статистических моделей звукоизоляции конструкций из сотового поликарбоната был проведен регрессионный анализ полученных результатов эксперимента. Экспериментально-статистические модели звукоизоляции конструкций из сотового поликарбоната представлялись в виде следующего полинома второй степени:

$$y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_{12} Z_1 Z_2 + b_{13} Z_1 Z_3 + b_{23} Z_2 Z_3 + b_{11} Z_1^2 + b_{22} Z_2^2 + b_{33} Z_3^2, \quad (3)$$

где  $b_0$  — свободный член,  $b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$  — коэффициенты, оценивающие влияние входных факторов;  $Z_1, Z_2, Z_3$  — натуральные значения входных факторов.

По результатам регрессионного анализа и отсеиванию незначимых коэффициентов были получены следующие уравнения регрессии на среднегеометрических частотах с доверительной вероятностью  $P \geq 0,95$ :

1. Для 250 Гц:  $Y_1 = 4,075 + 0,255Z_1 + 0,237Z_2$ ,
2. Для 500 Гц:  $Y_2 = 14,862 - 0,085Z_3 + 0,006Z_1 Z_3 + 0,02Z_2^2$ ,
3. Для 1000 Гц:  $Y_3 = 7,59 + 0,492Z_1 + 0,736Z_2 - 0,029Z_1 Z_2 + 0,006Z_1 Z_3$ ,
4. Для 2000 Гц:  $Y_4 = 5,439 + 0,378Z_1 + 0,332Z_2 + 0,062Z_3$ ,
5. Для 4000 Гц:  $Y_5 = 15,1 + 0,005Z_2 Z_3$ ,
6. Для 8000 Гц:  $Y_6 = 14,074 - 0,044Z_1 Z_2 + 0,054Z_1^2 + 0,044Z_2^2$ ,

Уровень значимости  $\alpha$  всех уравнений меньше 0,05. Что говорит о том, что данные уравнения являются значимыми с вероятностью 95 %.

В ходе анализа полученных уравнений регрессии и построенных графиков звукоизоляции конструкций из сотового поликарбоната были выявлены следующие закономерности:

- в пределах исследуемых величин воздушный промежуток (фактор  $Z_3$ ) оказывает слабое влияние на величину звукоизоляции;
- решающее значение на величину звукоизоляции оказывают толщина нижнего и верхнего листов сотового поликарбоната (факторы  $Z_1$  и  $Z_2$ );
- по полученным уравнениям регрессии можно спрогнозировать с надежностью 95 % величину звукоизоляции конструкций

из сотового поликарбоната с воздушным промежутком в частотном диапазоне 250—8000 Гц.

### **Список литературы:**

1. Гагарин Д.Р. Малые реверберационные камеры УГЛТУ для испытания звукопоглощающих материалов и конструкций / В.Н. Старжинский, Д.Р. Гагарин // Материалы VII Всероссийской науч.-техн. конф. студентов и аспирантов УГЛТУ. — Урал. гос. лесотехн. ун-т. — Екатеринбург, 2011. — Ч. 2.— С. 194—197.
2. ГОСТ 26417-85. Материалы звукопоглощающие строительные. Метод испытаний в малой реверберационной камере. М.: Издательство стандартов, 1985. 15 с.
3. Сотовый поликарбонат // Википедия. — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Сотовый\\_поликарбонат](http://ru.wikipedia.org/wiki/Сотовый_поликарбонат) (дата обращения: 02.12.2012).
4. Старжинский В.Н. Акустические характеристики сотового поликарбоната / Старжинский В.Н., Гагарин Д.Р., Завьялов А.Ю., Совина С.В. // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды VI международного Евразийского симпозиума. — Урал. гос. лесотехн. ун-т.— Екатеринбург, 2011.— С. 332—335.

## ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКОАНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ НЕФТЕДОБЫЧИ

***Картушина Юлия Николаевна***

*канд. геол.-минерал. наук, Волгоградский государственный  
технический университет, г. Волгоград  
E-mail: [kartysina@rambler.ru](mailto:kartysina@rambler.ru)*

***Полозова Ирина Анатольевна***

*канд. техн. наук, Волгоградский государственный  
технический университет, г. Волгоград  
E-mail: [irinapolozova@yandex.ru](mailto:irinapolozova@yandex.ru)*

***Желтобрюхов Владимир Федорович***

*д-р техн. наук, профессор, Волгоградский государственный  
технический университет, г. Волгоград  
E-mail: [z\\_vl\\_f@mail.ru](mailto:z_vl_f@mail.ru)*

## PLANNING OF ENVIRONMENTAL ANALYTICAL SERVICES BY THE DEVELOPMENT OF OIL AND GAS FIELDS

***Julia Kartushina***

*Candidate of geological and mineralogical sciences,  
Volgograd State technical university, Volgograd*

***Irina Polozova***

*Candidate of technical sciences,  
Volgograd State technical university, Volgograd*

***Vladimir Zheltobryukhov***

*Doctor of technical sciences, professor,  
Volgograd State technical university, Volgograd*

## АННОТАЦИЯ

Контроль за загрязнением окружающей среды необходим на всех стадиях освоения нефтяных месторождений. Одним из ключевых моментов при этом является правильное планирование экоаналитического обеспечения. Оно позволяет избежать неблагоприятных последствий для окружающей среды, спланировать природоохранные мероприятия и обеспечить высокую эффективность деятельности предприятия в области экологии природопользования.

### ABSTRACT

Environmental pollution control is necessary at all the stages of oil and gas fields' development. One of the most essential issues is the right setting of goals and targets of environmental analytical laboratories. It contributes to avoiding of adverse effects on the environment, planning of environmental activities and providing the high level of enterprise efficiency in the field of environmental management.

**Ключевые слова:** экологический мониторинг; экоаналитическая лаборатория

**Keywords:** ecological monitoring; environmental analytical laboratory

Интенсивное освоение нефтяных месторождений, расположенных в сложных с инженерно-геологической точки зрения областях нашей планеты, приводит к серьёзному воздействию на окружающую среду, вплоть до возникновения чрезвычайных ситуаций различного характера.

Формированию сложной экологической ситуации способствуют не только высокая техногенная нагрузка, но и, как правило, особенности климата и рельефа территорий, незащищенность подземных вод и природного комплекса, которое приводит к различного рода загрязнениям и вторичному засолению. При этом окружающая среда претерпевает весьма существенные техногенные преобразования.

Среди основных источников загрязнения здесь можно выделить:

1. межпромысловые трубопроводы, при порывах которых образуются наиболее обширные загрязнения;
2. внутри промысловые коллекторы, характеризующиеся наибольшей частотой порывов;
3. кусты промысловых скважин.

Кроме этого существенным источником загрязнения окружающей среды нефтепромысловыми отходами являются шламовые

амбары. Не ликвидированные амбары, как правило, используются в качестве несанкционированных полигонов промышленных отходов, в которые при авариях и ремонтах скважин бесконтрольно сбрасывают нефть и различные реагенты. Аварии на трубопроводах и промплощадках, размыв обваловок шламовых амбаров, распыление капельной нефти при сгорании попутного газа на факелах — все это приводит к загрязнению углеводородами водоемов, почв, к деградации флоры, обеднению фауны.

Одной из важнейших задач в таком случае является планирование эконаналитического обеспечения, направлениями реализации которого являются экологический мониторинг и деятельность эконаналитической лаборатории.

Общую характеристику воздействия на окружающую среду с указанием валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу, параметров загрязнения поверхностных и подземных вод и других параметров воздействия отражает система экологического мониторинга [1].

Она должна позволять четко отслеживать экологическую ситуацию и получать объективную картину состояния окружающей среды.

Система экомониторинга может включать в себя наблюдение за техногенными факторами, воздействующими на окружающую среду, оценку фактического состояния природных комплексов и прогноз состояния экологических систем, что позволит выявить причинную взаимосвязь между факторами воздействия и вызываемыми ими ответными реакциями.

При планировании важным является выбор и разработка методов, позволяющих провести комплексную оценку качества окружающей среды, ее благоприятности для человека, определение предельно допустимых нагрузок на окружающую среду, а также осуществление прогностического моделирования динамики состояния основных природных комплексов.

Для проведения комплексной оценки состояния окружающей природной среды в зоне влияния нефтедобычи необходимо интегрировать систему экологического мониторинга в единую систему контроля во всех природных средах, что возможно только при объединении методов биологического мониторинга и эколого-аналитического контроля объектов окружающей среды.

Важнейшей составляющей частью при этом является наличие эконаналитической лаборатории. Действующие лаборатории по контролю за состоянием почвы, водных объектов и атмосферы должны быть

оснащены высокоэффективным оборудованием и соответствующим образом аккредитованы. Оценка экологической ситуации должна проводиться с высокой степенью оперативности. Сбор материалов для анализов должен осуществляться на основании стандартных и общепринятых методов с обязательной статистической обработкой данных и использованием аттестованных методов.

Основными **целями деятельности** лаборатории являются:

1. Оценка воздействия разработки нефтяных месторождений на окружающую среду в научно-прикладном и узком (задачи, решаемые при реализации конкретных проектов) аспектах;

2. Разработка и внедрение мероприятий, позволяющих вести рациональное природопользование, предотвращать и минимизировать негативные экологические последствия хозяйственной деятельности при добыче нефти.

При этом **первоочередными задачами** экоаналитической лаборатории становятся:

1. Участие в отборе и анализе проб при повреждениях трубопроводов и резервуаров с грунтов и из водоемов с выдачей соответствующих документов природоохранным службам.

2. Осуществление контроля и определение концентрации паров нефтепродуктов в воздухе рабочей зоны при организации ремонтных работ.

3. Выполнение анализов сточных вод на содержание нефтепродуктов.

4. Контроль количества и состава выбросов от стационарных и передвижных источников загрязнения атмосферы.

Выполнение вышеперечисленных целей и первоочередных задач даёт возможность проводить анализ эффективности принимаемых природоохранных мер, оперативно решать экологические проблемы, своевременно устранять нештатные ситуации и обеспечивать успех и высокую эффективность деятельности предприятия в области экологии природопользования.

### **Список литературы:**

1. Хаустов А.П., Редина М.М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. — М.: Изд-во «Дело», 2006. — 553 с.

## СЕКЦИЯ 9.

### НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

#### ИММОБИЛИЗАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИ-N-ВИНИЛПИРРОЛИДОМ, НА ОКСИД АЛЮМИНИЯ

***Есмурзаева Нурлыкыз Нагашыбаевна***

*магистрант 2-го года обучения Казахского национального  
технического университета (КазНТУ) имени К.И. Сатпаева,*

*г. Алматы*

*E-mail: [nurlykyz@mail.ru](mailto:nurlykyz@mail.ru)*

***Тумабаев Нурмухамед Жашанович***

*канд. хим. наук, ст.науч.сотр. Института катализа электрохимии  
имени Д.В. Сокольского,*

*г. Алматы*

*E-mail: [muhammed\\_76@mail.ru](mailto:muhammed_76@mail.ru)*

***Благих Евгений Владимирович***

*инженер высшего уровня квалификации,  
Лаборатория инженерного профиля,*

*г. Алматы*

*E-mail: [yzinger.evgeniy@mail.ru](mailto:yzinger.evgeniy@mail.ru)*

***Селенова Багдат Саматовна***

*д-р хим. наук, доцент КазНТУ имени К.И. Сатпаева,*

*г. Алматы*

*E-mail: [selen.b.s@mail.ru](mailto:selen.b.s@mail.ru)*

***Кудайбергенов Саркыт Елекенович***

*д-р хим. наук, профессор КазНТУ имени К.И. Сатпаева,*

*г. Алматы*

*E-mail: [skudai@mail.ru](mailto:skudai@mail.ru)*

**IMMOBILIZATION  
OF POLY(N-VINYLPYRROLIDONE)  
STABILIZED GOLD NANOPARTICLES  
ON ALUMINIUM OXIDE**

***Nurlykyz Yesmurzayeva***

*2<sup>nd</sup> year master's degree of Kazakh National Technical University by  
K. Satpayev (KazNTU), Almaty*

***Nurmuhammed Tumabayev***

*Candidate of Chemistry Sciences D.V. Sokolskii Institute of Catalysis and  
Electrochemistry, Almaty*

***Yevgenii Blagih***

*Specialist of high qualification, Laboratory of engineering profile*

***Bagdat Selenova***

*Doctor of Chemistry Sciences, Associate Professor of KazNTU by  
K. Satpayev, Almaty*

***Sarkyt Kudaibergenov***

*Doctor of Chemistry Sciences, professor of KazNTU by K. Satpayev, head  
of Laboratory of Engineering Profile, Institute of Polymer Materials and  
Technology Almaty*

**АННОТАЦИЯ**

В статье рассмотрена методика синтеза и нанесения наночастиц золота (НЧЗ), стабилизированных поли-N-винилпирролидоном (ПВПД), на поверхность оксида алюминия с целью получения гетерогенных нанокатализаторов золота для разложения пероксида водорода. Определены спектры поглощения в видимой области, размеры НЧЗ и изучены термические и каталитические свойства иммобилизованных НЧЗ на оксид алюминия.

**ABSTRACT**

Method of synthesis and supporting of poly(N-vinylpyrrolidone) stabilized gold nanoparticles (AuNPs) on the surface of aluminium oxide for obtaining of heterogeneous nanocatalysts for decomposition hydrogen peroxide have been considered. Absorbance spectra in visible region, size of nanoparticles as well as thermal and catalytic properties of AuNPs immobilized on aluminium oxide were studied.

**Ключевые слова:** наночастицы золота; иммобилизация; поли-N-винилпирролидон; оксид алюминия; катализ.

**Keywords:** nanoparticles of gold; immobilization; poly(N-vinylpyrrolidone); aluminium oxide; catalysis.

### **Введение**

Наночастицы золота из-за их уникальных физических и химических свойств вызывают большой интерес у исследователей. Главная проблема успешной работы с ними заключается в том, что наночастицы золота весьма неустойчивы и стремятся к агрегации, что приводит к потере свойств материала, связанных с наноразмерным эффектом. Используя в качестве стабилизирующего агента полимеры, можно не только стабилизировать наночастицы, но и создавать новый материал, свойства которого будут взаимодополняться его компонентами.

Повышенный интерес исследователей к наночастицам металлов, стабилизированных водорастворимыми полимерами, обусловлен управлением кинетикой роста, распределением, размерами, стабильностью наночастиц, что в конечном итоге определяет их каталитические, магнитные, электрические, оптические, оптоэлектронные, медико-биологические и др. свойства.

Существует несколько методов получения полимер-протектированных НЧЗ [8, 6]. Авторы [5] анализировали сферы использования полимер-протектированных НЧЗ в биологии, в биотехнологии и в медицине. Нанокатализаторы на основе золота различных размеров, формы, структуры были использованы в процессах алкилирования, дегидрогенизации, гидрогенизации и окисления благодаря их потенциальной применимости во многих реакциях имеющие как промышленную, так и экологическую важность [3]. В литературе имеются сведения об использовании НЧЗ, нанесенных на оксид марганца для окисления СО [4]. В работах [2, 9] были изучены термическая стабильность и каталитическая активность НЧЗ, нанесенных на диоксид кремния и оксид магния.

Ранее нами изучены каталитические свойства полимер-протектированных наночастиц палладия, иммобилизованных в матрицу термочувствительных гидрогелей, в реакции гидрирования аллилового спирта [7].

Однако каталитические свойства полимер-протектированных НЧЗ, нанесенных на неорганические носители в литературе рассмотрены в ограниченной степени.

В настоящей статье описывается одностадийный метод получения НЧЗ в присутствии ПВПД различной молекулярной массы, представлены спектры поглощения, результаты определения размеров НЧЗ и термические характеристики НЧЗ, нанесенных на оксид алюминия. Кроме того, рассмотрена каталитическая активность, нанесенных на оксид алюминия НЧЗ в реакции разложения пероксида водорода.

### **Экспериментальная часть**

#### ***Материалы***

Поли-N-винилпирролидон (ПВПД) — продукт фирмы “Aldrich” с различной молекулярной массой ( $10 \cdot 10^3$ ,  $40 \cdot 10^3$  и  $350 \cdot 10^3$ ), раствор  $\text{HAuCl}_4$ , а также КОН и оксид алюминия - марки «х.ч.» использовали без дополнительной очистки.

#### ***Методы***

Спектры поглощения и кинетику образования НЧЗ снимали на спектрофотометре Specord 210 plus BU (Германия) при комнатной температуре.

Размеры ПВПД-стабилизированных НЧЗ в водном растворе определяли с помощью динамического лазерного светорассеяния Malvern Zetasizer Nano ZS90 (Великобритания) при комнатной температуре.

Содержание золота в водном растворе определяли с помощью оптического эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ИСП) “Optima 5100DV” (Perkin Elmer, США).

Термические характеристики образцов исследовали на дифференциальном сканирующем калориметре DSC Evo Setaram (Франция) в температурном интервале 10—450°C.

#### ***Синтез ПВПД-стабилизированных НЧЗ (ПВПД/Au)***

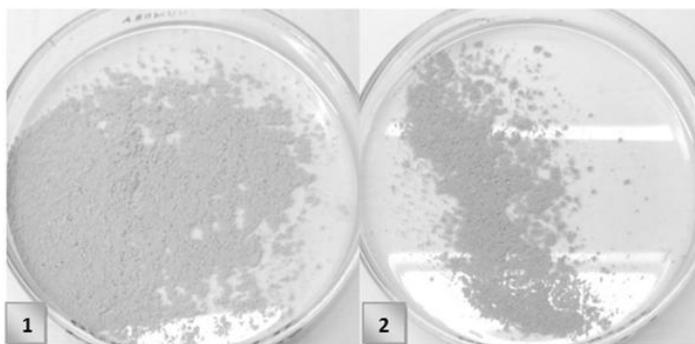
НЧЗ получали в одну стадию нагреванием смеси водных растворов  $\text{HAuCl}_4$ , КОН и ПВПД на водяной бане при 100 °С с обратным холодильником в течение нескольких минут до образования интенсивной окраски раствора (Рисунок 1).



**Рисунок 1. Образцы НЧЗ, полученные в присутствии ПВПД с молекулярной массой 10·10<sup>3</sup> (1), 40·10<sup>3</sup> (2) и 350·10<sup>3</sup> (3).**

**Нанесение ПВПД-стабилизированных НЧЗ (ПВПД/Au) на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ПВПД/Au)**

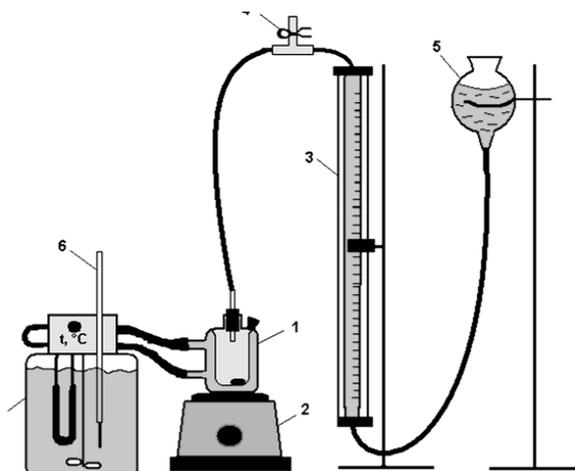
НЧЗ наносили на оксид алюминия методом пропитки. Для этого 0.5 г оксида алюминия добавили в 5 мл водного раствора НЧЗ при перемешивании в течение 5 часов. После этого смесь НЧЗ и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> центрифугировали на препаративной центрифуге “Eppendorf 5810R” (Германия) при 10·10<sup>3</sup> об/мин, затем осадок промывали дистиллированной водой 5 раз и содержание золота в супернатанте определяли на ИСП. Отделенный центрифугированием осадок сушили в сушильном шкафу при 50°C. На рисунке 2 представлены образцы НЧЗ, нанесенных на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.



**Рисунок 2 — Образцы НЧЗ, протектированных ПВПД с M = 40·10<sup>3</sup> (1) и 10·10<sup>3</sup> (2) и нанесенных на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.**

### *Разложение перекиси водорода*

Реакцию разложения пероксида водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  проводили в реакторе, снабженном магнитной мешалкой (рисунок 3). В реакционный сосуд помещали 50 мг катализатора ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ПВПД}-40 \cdot 10^3/\text{Au}$ ) и добавили 5 мл 30 %-ый раствор  $\text{H}_2\text{O}_2$ , сосуд герметично закрывали пробкой с трубкой, которая соединялась с газовой бюреткой, при этом верхний кран держали открытым в течение 1 минуты (для вытеснения воздуха выделяющимся кислородом из реакционного сосуда). Включали секундомер и через 1, 5, 10, 15 и 30 минут измеряли объем выделяющегося кислорода газометрическим способом.



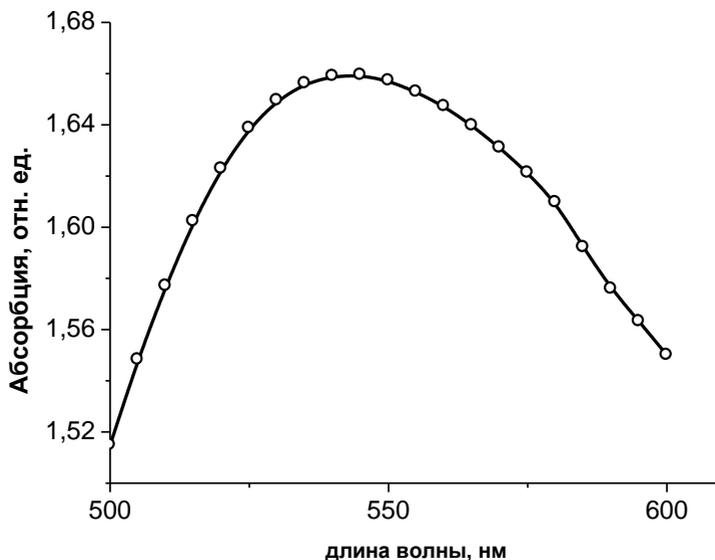
*Рисунок 3 — Схема установки для определения выхода кислорода при разложении перекиси водорода. 1 — термостатированный реактор, 2 — магнитная мешалка, 3 — измерительная бюретка, 4 — кран, 5 — уравнительная воронка, 6 — термометр, 7 — термостат*

### **Результаты и обсуждение**

Наночастицы благородных металлов обладают уникальными оптическими свойствами, связанными с наличием в спектрах рассеяния и поглощения одного или нескольких резонансных пиков в видимой и ближней ИК области. Эти пики связаны с так называемыми поверхностными плазмонными резонансами (ППР) металлических наночастиц [1], возбуждаемыми коллективными

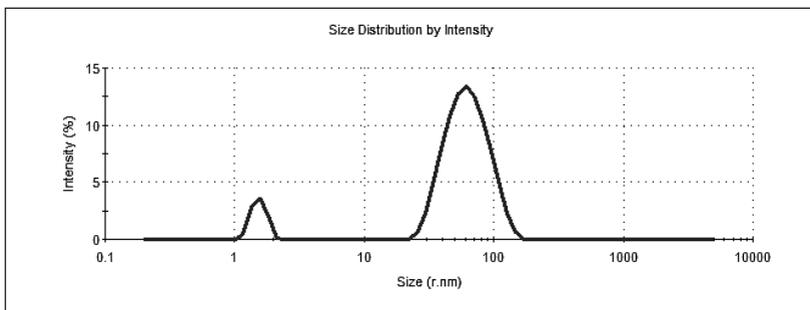
когерентными колебаниями свободных электронов в электрическом поле падающей световой волны.

На рисунке 4 показан спектр поглощения водного раствора НЧЗ в видимой области спектра. Характерная фиолетовая окраска водного раствора, содержащего наночастицы золота, обусловлена появлением ППП вблизи длины волны 545 нм.



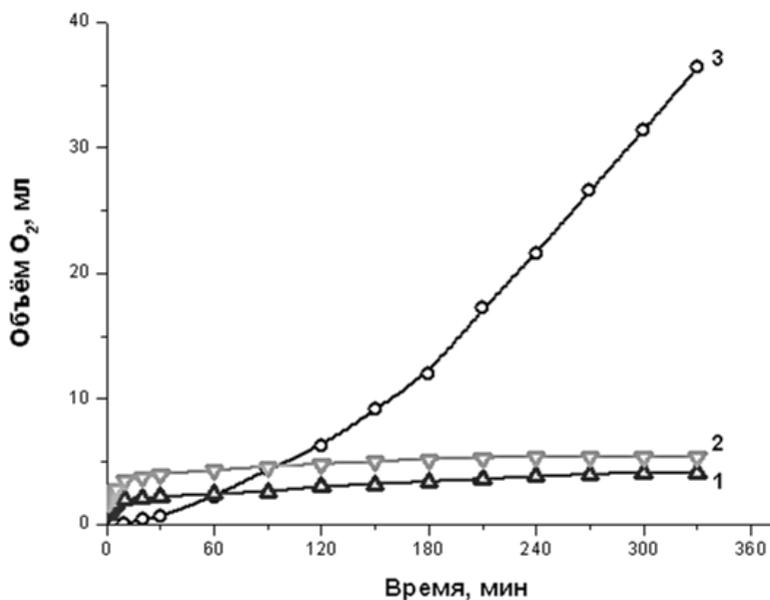
**Рисунок 4. Спектр поглощения НЧЗ, стабилизированных ПВПД-40-103**

Размеры НЧЗ, определенные методом ДЛС, представлены на рис. 5. Видно, что частицы нанозолота, стабилизированные ПВПД-40-10<sup>3</sup>, в основном имеют размеры в пределах 65 нм и составляют 91 % от общего количества НЧЗ. Это свидетельствует об отсутствии больших агрегатов НЧЗ и их однородности.



**Рисунок 5. Результаты измерения размеров ПВПД-40·103/Au методом ДЛС**

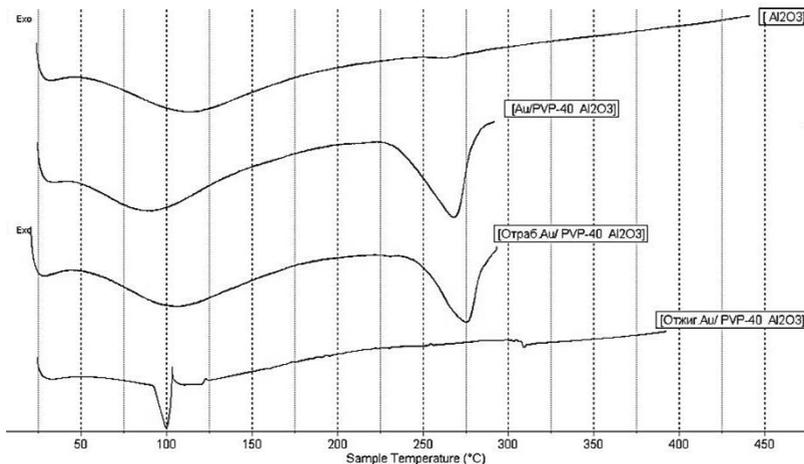
На рис. 6 сравнивается скорость разложения пероксида водорода в присутствии  $Al_2O_3$ , ПВПД/ $Al_2O_3$  и ПВПД-стабилизированных и нанесенных на оксид алюминия НЧЗ ( $Al_2O_3$ /ПВПД/Au).



**Рисунок 6. Скорость разложения пероксида водорода  
1) ПВПД/ $Al_2O_3$ , 2)  $Al_2O_3$ , 3) Au/ПВПД/ $Al_2O_3$**

Результаты опытов свидетельствуют о том, что скорость разложения  $H_2O_2$  в присутствии Au/ПВПД/ $Al_2O_3$  существенно выше, что отражает сравнительно высокую катализную активность.

Термические свойства катализатора  $Al_2O_3$ /ПВПД/Au изучали методом ДСК (рисунок 7). Исходный оксид алюминия в температурном интервале от 10 до  $450^\circ C$  не претерпевает существенных изменений за исключением того, что в области  $100^\circ C$  появляется эндотермический пик, который возможно связан с удалением влаги с поверхности  $Al_2O_3$ . В исходном образце  $Al_2O_3$ /ПВПД/Au обнаруживается эндотермический пик при  $270^\circ C$ . После участия  $Al_2O_3$ /ПВПД/Au в каталитическом разложении пероксида водорода появляется эндотермический пик при  $275^\circ C$ . Это свидетельствует о стабильности катализатора на основе  $Al_2O_3$ /ПВПД/Au в реакции разложения пероксида водорода. Наличие эндотермических пиков при  $270$ — $275^\circ C$  в образцах  $Al_2O_3$ /ПВПД/Au до и после участия в каталитическом акте связано с термической деструкцией полимера — ПВПД с выделением газообразных продуктов. Это подтверждается тем, что эндотермический пик при  $270$ — $275^\circ C$  исчезают полностью после термической обработки (отжига)  $Al_2O_3$ /ПВПД/Au при  $400^\circ C$ .



**Рисунок 7. ДСК кривые  $Al_2O_3$  (1),  $Al_2O_3$ /ПВПД-40-103/Au (2), отработанный ПВПД-40-103/Au (3) и ПВПД-40-103/Au после отжига при  $400^\circ C$  в течение 1.5 часов**

### Список литературы:

1. Chow P.E. (ed.) *Gold Nanoparticles: Properties, Characterization and Fabrication*. — N.-Y.: Nova Science Publisher, 2010. —250 p.
2. Gabriel M. Veith, Andrew R. Lupini, Sergey Rashkeev, Stephen J. Pennycook, David R. Mullins, Viviane Schwartzc, Craig A. Bridgesc, Nancy J. Dudney. Thermal stability and catalytic activity of gold nanoparticles supported on silica. *Journal of Catalysis* 262 (2009). P. 92—101.
3. Haruta, M., Daté, M. Advances in the catalysis of Au nanoparticles (Review). *Applied Catalysis A: General*. Volume 222, Issue 1—2, 20 December 2001, Pages 427—437.
4. Li Wen, Jin-Kun Fu, Ping-Ying Gu, Bing-Xing Yao, Zhong-Hua Lin, Jian-Zhang Zhou. Monodispersed gold nanoparticles supported on  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for enhancement of low-temperature catalytic oxidation of CO. *Applied Catalysis B: Environmental* 79 (2008). P. 402—409.
5. Paciotti, G.F., Myer, L., Weinreich, D., Goia, D., Pavel, N., McLaughlin, R.E., Tamarkin, L. Colloidal gold: A novel nanoparticle vector for tumor directed drug delivery. *Drug Delivery: Journal of Delivery and Targeting of Therapeutic Agents*. Volume 11, Issue 3, 2004, Pages 169—183.
6. Ram, S., Agrawal, L., Mishra, A., Roy, S.K. Synthesis and optical properties of surface stabilized gold nanoparticles with poly(vinyl pyrrolidone) Polymer molecules of a nanofluid. *Advanced Science Letters* Volume 4, Issue 11—12, November 2011, Pages 3431—343.
7. Sarkyt E. Kudaibergenov, Zhanar E. Ibraeva, Natalya A. Dolya, Binur Kh. Musabaeva, Alima K. Zharmagambetova, Joachim Koetz. Semi-Interpenetrating Hydrogels of Polyelectrolytes, Polymer-Metal Complexes and Polymer Protected Palladium Nanoparticles. *Macromol. Symp.* 2008, 274, P. 11—2.
8. Shan J., Tenhu H. Recent advances in polymer protected gold nanoparticles: Synthesis, properties and applications (Review). *Chemical Communications*. Issue 44, 2007, Pages 4580—4598.
9. Vinicius V. Costa, Miguel Estrada, Yulia Demidova, Igor Prosvirin, Vladimir Kriventsov, Rafaela F. Cotta, Sergio Fuentes, Andrey Simakov, Elena V. Gusevskaya. Gold nanoparticles supported on magnesium oxide as catalysts for the aerobic oxidation of alcohols under alkali-free conditions. *Journal of Catalysis* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcat.2012.05.009>.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
СОВРЕМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО  
НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ**

***Прокофьева Елена Васильевна***

*канд. физ.-мат. наук, преподаватель ВА МВД России, г. Волгоград  
E-mail: [olenyonok@mail.ru](mailto:olenyonok@mail.ru)*

***Прокофьева Ольга Юрьевна***

*преподаватель, ВПК им. В.И. Вернадского, г. Волгоград*

***Шаркевич Нина Вячеславовна***

*преподаватель, ВПК им. В.И. Вернадского, г. Волгоград*

**THE USE OF MODERN EQUIPMENT  
FOR STUDYING PERSPECTIVE  
NANOTECHNOLOGICAL DIRECTION**

***Elena Prokofyeva***

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Teacher of Volgograd  
Academy of the Russian Internal Affairs Ministry, Volgograd*

***Olga Prokofyeva***

*Teacher of Vernadsky Volgograd Polytechnic College, Volgograd*

***Nina Sharkevich***

*Teacher of Vernadsky Volgograd Polytechnic College, Volgograd*

**АННОТАЦИЯ**

Развитие нанотехнологий немислимо без современного парка самого разнообразного оборудования, необходимого для синтеза и диагностики нанопродуктов. Цель нашего исследования состояла в поиске новых материалов для создания зондов-СТМ, а также возможных тестовых образцов для наноиентифирования.

## ABSTRACT

The development of nanotechnologies is impossible without modern various equipment stock which is necessary for synthesis and diagnostic testing of nanofood. The aim of our research was to find new materials for STM-probes' creation as well as to find possible text samples for nanoindentation.

**Ключевые слова:** нанотехнологии; нанообразование; сканирующая туннельная микроскопия; микротвердость; наноиндентирование.

**Key words:** nanotechnologies; nanoformation; scanning tunnel microscopy; microhardness; nanoindentation.

Нанотехнологии — свидетельство научного и инновационного развития — все шире входят в нашу жизнь. Как отмечают специалисты, в ближайшие годы множество разделов современной науки будет произноситься с добавлением «нано». С точки зрения разработок и производства научно-технологических комплексов и контрольно-измерительного оборудования для Нанотехнологии нас интересуют, главным образом, вопросы практических применений. Поэтому под Нанотехнологией мы понимаем, прежде всего, именно технологию, т.е. совокупность приёмов и способов получения, обработки или переработки сырья, материалов, полуфабрикатов или изделий, характерные размеры, либо точности изготовления которых составляют величины на уровне или ниже 100 нм. А поскольку нас в первую очередь интересуют вопросы научно-технической деятельности (НТД) в Нанотехнологии, то желательно выделить в ней отдельные основные области НТД.

Прежде всего в Нанотехнологии выделяются области, связанные с конечными или промежуточными продуктами, это: Наноматериалы (Nanomaterials); Наноструктуры (Nanostructures); Наноустройства (Nanodevices).

Затем это области, связанные с производством этих продуктов:

Нанотехнологические Установки (Nanotechnology Facilities);

Инструменты Нанотехнологий (Nanotechnology Instruments) [6].

Отдельно выделяется область Нанонауки (Nanoscience, Nanoresearch), т.е. соответствующие научные исследования, связанные с «получением, обработкой или переработкой сырья, материалов, полуфабрикатов или изделий», включая Теоретическую и Компьютерную Нанотехнологию. К сфере Нанотехнологии нужно будет отнести и Инструменты Наноизмерений (Nanomeasuring Instruments), используемые в Нанонауке, а также сопровождающие

Нанотехнологические процессы, именно их специфика позволяет более адекватно отграничивать Нанотехнологию.

К важной области Нанотехнологии относится Нанообразование (Nanoeducation), включающее как общенаучное и общетехническое образование, так и подготовку операторов нанотехнологических установок и инструментов, а также и соответствующие вспомогательные средства и средства обучения. Важной функцией Нанообразования является также просвещение общества, формирование соответствующего научно-технического мировоззрения, позволяющего с готовностью воспринимать достижения Нанотехнологии. Кроме того, отдельно рассматриваются приложения, связанные с возможным влиянием Нанотехнологии на Окружающую среду и Безопасность Жизнедеятельности — Нанотехнология и ОБЖ (т. н. Environmental, Health, Safety (EHS) Nanotechnology) [5, 4].

Развитие нанотехнологий немислимо без современного парка самого разнообразного оборудования, необходимого для синтеза и диагностики нанопродуктов. Наиболее новым и вместе с тем перспективным направлением в исследовании свойств поверхности, в том числе на атомарном уровне, является сканирующая зондовая микроскопия. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) является вариантом сканирующего зондового микроскопа. СТМ предназначен для измерения рельефа поверхности с высоким пространственным разрешением. Принцип действия сканирующего туннельного микроскопа настолько прост, а потенциальные возможности так велики, что позволяет СТМ занять лидирующие позиции в сфере нанотехнологий, а также стать простым и доступным в использовании [2, 3].

Нами подобраны и опробованы новые материалы для создания зондов-СТМ, а также модифицирована методика травления зондов СТМ, и в целом метод приготовления зондов к работе.

Зонды, которые на сегодняшний день используются в СТМ, являются дорогостоящими и малодоступными, например, платина. В результате наших исследований мы подобрали ряд новых материалов, преимущественно металлы и сплавы для создания зондов-СТМ. Как известно, в сканирующих туннельных микроскопах используются зонды нескольких типов. Широкое распространение получили зонды, приготовленные методом электрохимического травления. Однако новые материалы для зондов, потребовали модификации самого процесса травления, в частности поиска химических реактивов под определенный сплав или металл, а также модификации имеющейся установки для травления посредством

замены некоторых составных ее элементов. Полученные зонды-СТМ были опробованы в учебном процессе на лабораторных практикумах по нанотехнологиям, на предмет остроты заточки, с целью получения атомарного разрешения. Было установлено, что подобранные материалы могут с успехом использоваться в качестве альтернативной замены имеющихся (платины).

Если говорить не о топографии поверхности, а непосредственно о физических свойствах, то нельзя не отметить важную роль наносклерометрического модуля. Например, твердость является одной из важнейших механических характеристик наноструктурированных материалов. Измерение твердости — значительно менее трудоемкая операция, чем большинство других видов механических испытаний, и не сопровождается разрушением изделия, такие методики широко распространены в промышленности и используются при контроле технологических процессов, определении эксплуатационных характеристик изделий. Для исследования механических свойств различных наноструктурированных материалов широко применяется специальный метод определения микротвердости вещества — наноиндентирование. Оно основано исключительно на механическом воздействии на исследуемую поверхность. Метод очень прост и заключается в прецизионном погружении зонда в поверхность образца на глубину нескольких нм и непрерывной регистрации прилагаемого усилия. Наноиндентор (нанотвердомер) — прибор, позволяющий осуществить наноиндентирование. Данное оборудование предоставляет возможность посредством высокоэффективного автоматизированного метода определить твердость и модуль упругости определенных точек поверхностных слоев. При этом анализу могут подвергаться самые различные материалы, в том числе наноструктурированные материалы для различных составных элементов автотранспортных средств. Прибор может быть использован для количественной оценки свойств их твердых покрытий, однослойных и многослойных покрытий, плотных мягких материалов, многофазных сплавов. С помощью нанотвердомера можно проводить тестирование поверхностного покрытия автомобильных транспортных средств, полупроводниковых пластин и т. п. [1].

Отсутствие поверочной схемы для средств измерений механических свойств в наномасштабе приводит к тому, что единственным способом обеспечения прослеживаемости значений твердости из микро- в наномасштаб является использование стандартных образцов (мер), аттестованных на эталоне микротвердости (по Виккерсу). В настоящее время эталонным объектом для измерения

микротвердости принято считать плавленый кварц, однако нигде не конкретизируется, что этот образец является эталонным для нанообъектов (нанопленок), что мы и поставили под сомнение. Установление возможных эталонов является одной из важных проблем нашего исследования. Единой системы эталонов для измерения механических свойств до сих пор не выработано.

В результате проведенного исследования, мы выделили ряд материалов, которые могут быть использованы в качестве эталонов для наноиндентирования. Разработаны и аттестованы меры твердости, необходимые для калибровки нанотвердомера. В качестве материалов для изготовления таких мер были выбраны материалы, однородные и изотропные по своей структуре. Измерение твердости и модуля упругости осуществлялось методом динамического наноиндентирования.

Работы в области нанотехнологий — одни из самых востребованных сегодня. Исследования в этой сфере требуют применения самого современного оборудования. Если говорить об образовании в области современных технологий, к которым относятся нанотехнологии — то это направление образующее, и оно может касаться очень многого. Таким образом, означенная проблема применения перспективного оборудования для изучения нанотехнологического направления очень важна. В этом направлении необходимо много работать, совершенствуя и углубляя уже имеющееся и разрабатывая новое.

### **Список литературы:**

1. Балабанов В.И. Нанотехнологии. Наука будущего. М.: Эксмо, 2008. — 256 с.
2. Маслова Н. С., Панов В. И. Сканирующая туннельная микроскопия атомной структуры, электронных свойств и поверхностных реакций // Успехи физических наук. — 1989. — Т. 157, № 1. — С. 185—195.
3. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Нижний Новгород: РАНИФМ, 2004. — 110 с.
4. Albert Franks "Nanotechnology" 1987 J. Phys. E: Sci. Instrum. 20, pp. 1442—1451.
5. K. Eric Drexler "Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation" 1981 Proc. Natl. Acad. Sci. USA Vol. 78, No. 9, pp. 5275—5278.
6. Norio Taniguchi "On the Basic Concept of 'NanoTechnology'" 1974 Proc. ICPE Tokyo, 2, p. 18—23.

## УСИЛЕНИЕ СИГНАЛА ПЬЕЗОКВАРЦЕВОГО ИММУНОСЕНСОРА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СТРЕПТОМИЦИНА

**Фарафонова Ольга Вячеславовна**

*канд. хим. наук, доцент Липецкого государственного  
технического университета, г. Липецк  
E-mail: [voronezkaya@mail.ru](mailto:voronezkaya@mail.ru)*

**Васильев Сергей Викторович**

*студент Липецкого государственного технического университета,  
г. Липецк*

**Ермолаева Татьяна Николаевна**

*д-р. хим. наук, профессор, профессор Липецкого государственного  
технического университета, г. Липецк*

## AMPLIFYING THE SIGNAL OF PIEZOQUARTZ IMMUNOSENSOR FOR STREPTOMYCIN DETERMINATION

**Olga Farafonova**

*Candidate of Chem. Sciences, Associate Professor of Lipetsk State  
Technical University, Lipetsk*

**Sergey Vasiliev**

*Student Lipetsk State Technical University, Lipetsk*

**Tatiana Ermolaeva**

*Doctor of Chem. Sciences, Professor, Lipetsk State Technical University,  
Lipetsk*

### АННОТАЦИЯ

Разработана методика синтеза наночастиц золота и их применение для амплификации сигнала пьезокварцевого иммуносенсора для определения стрептомицина в проточно-инжекционном режиме. Показано влияние рН, природы и концентрации восстановителя

и стабилизатора на процесс образования и устойчивость золотых наночастиц. Установлено, что применение наночастиц золота с диаметром 4 нм снижает предел обнаружения стрептомицина с 8 до 0,2 нг/мл и расширяет диапазон определяемых содержаний с 10—50 нг/мл до 0,8—120 нг/мл.

#### ABSTRACT

Developed the synthesis technique of gold nanoparticles and their application to signal amplification of piezoquartz immunosensor for the determination of streptomycin in the flow-injection mode. Shown the impact of pH, nature and concentration of the reducing agent and stabilizer to the formation and stability of the gold nanoparticles. Found that the use of gold nanoparticles with a diameter of 4 nm reduces the detection limit of streptomycin from 8 to 0.2 ng/ml and expands concentration range from 10—50 ng/ml to 0,8—120 ng/ml.

**Ключевые слова:** стрептомицин; сенсор; наночастицы золота.

**Keywords:** streptomycin; sensor; gold nanoparticles.

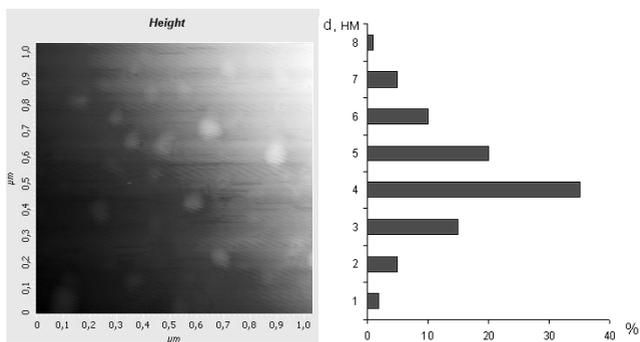
Аналитическим сигналом пьезокварцевого иммуносенсора служит частотный сдвиг резонатора в результате образования иммунокомплекса на поверхности его электродов, поэтому для увеличения чувствительности детектирования необходимо осуществлять формирование высокоаффинного слоя с высоким количеством доступных сайтов связывания для последующего комплементарного взаимодействия с молекулами антител, а также использовать наночастицы различной природы для конъюгирования с антителами, способствуя увеличению массы при образовании иммунокомплекса [1]. Наиболее устойчивые конъюгаты с молекулами антител образуют частицы благородных металлов — золота и серебра. Достоинствами золотых наночастиц являются высокая плотность, обеспечивающая малые размеры частиц при большой массе, возможность получения частиц различного размера, относительная стабильность во времени. Развитие стратегии усиления сигнала пьезокварцевого сенсора с помощью золотых наночастиц показано на примере определения стрептомицина.

Стрептомицин наиболее распространенный аминогликозидный антибиотик, применяемый для лечения инфекционных заболеваний сельскохозяйственных животных, борьбы с ростом бактерий и грибов при культивировании овощей, фруктов и злаков, поэтому следовые концентрации препарата обнаруживаются в пищевых продуктах животного и растительного происхождения. Содержание

стрептомицина в пище строго нормируется и не должно превышать 500 мкг/кг в мясе и печени, 1000 мкг/кг в почках, 200 мкг/л в молоке, 20 мкг/кг в меде, а в детском питании антибиотики должны и вовсе отсутствовать.

В настоящее время актуальной задачей является оптимизация методов получения наночастиц заданного размера, обладающих низкой полидисперсностью. Характеристики синтезируемых наночастиц в значительной мере зависят от технологии их получения. Традиционные способы синтеза, основанные на осаждении вещества из его пересыщенного раствора, не позволяют получать коллоидные системы с узкой дисперсностью [3, 4].

Исследованы условия синтеза наночастиц золота фиксированного размера из золотохлористоводородной кислоты с применением восстановителей (цитрат натрия, гидроксиламин солянокислый, хлорид олова, гидразин солянокислый, аскорбиновая кислота) и стабилизаторов (додецилсульфат натрия, полиэтиленгликоли 2000, 3000) при конвекционном нагревании. Концентрацию  $\text{HAuCl}_4$  поддерживали постоянной — 0,4 ммоль/л. Показано, что при использовании в качестве восстановителя гидразина солянокислого в цитратной среде с присутствием стабилизатора ПЭГ 3000 образуются наиболее устойчивые наночастицы золота со средним диаметром  $5 \pm 4$  нм. Размер синтезированных коллоидных наночастиц золота определяли спектрофотометрически в видимой области спектра по положению максимума плазмонного резонанса. Для уточнения размера наночастиц и установления их распределения по размерам применяли метод атомной силовой микроскопии. Растворы коллоидного золота наносили на графитовую подложку и высушивали потоком холодного воздуха [2]. Измерения проводили по стандартной методике с использованием программного обеспечения “NOVA”. Проведенные измерения позволили представить распределения частиц в виде гистограмм (рис. 1).



**Рисунок 1. АСМ изображение наночастиц ( $5\pm 4$  нм), осажденных на графитовую подложку (а) и гистограмма распределения по размерам (б)**

Для снижения дисперсности наночастиц золота изучен синтез в обратных микроэмульсиях. Преимущество такого способа получения наночастиц состоит в относительной простоте, возможности управлять размером получаемых частиц и одновременно проводить их стабилизацию.

Синтез наночастиц золота осуществляли путем восстановления золотохлористоводородной кислоты с помощью гидразина солянокислого и боргидрида натрия. В качестве неполярной среды применяли гексан, неионогенные и ионогенные поверхностно активные вещества. Показано, что диаметр наночастиц золота зависит от концентрации и природы ПАВ, обеспечивающего фиксированный размер микроэмульсий. Исследовано влияние соотношений концентраций восстановителя и ЗХВК, природу восстановителя. Установлено, что применение в качестве восстановителя боргидрида натрия приводит к большей интенсивности взаимодействия при получении наночастиц золота, а уменьшение концентрации ЗХВК приводит к пропорциональному снижению размера наночастиц золота. Степень дисперсности наночастиц снижается с увеличением их среднего размера, однако наиболее устойчивы коллоидные частицы диаметром 4—6 нм.

Для определения стрептомицина применяли конкурентный формат анализа, при осуществлении которого к пробе, содержащей аналит, вводили заранее установленное количество антител, соответствующее 50 %-ному связыванию и выдерживали в течение 2—3 минут до завершения образования гомогенного иммунного комплекса определяемого соединения с антителами. Затем пробу

вводили в поток раствора-носителя, и после попадания ее в ячейку детектирования, измеряли аналитический сигнал сенсора при взаимодействии несвязавшихся антител с гаптен-белковым конъюгатом, иммобилизованным на поверхности электрода сенсора. Применение концентрации антител, соответствующей 50 % связыванию, позволяло достичь оптимального соотношения активных центров на поверхности иммуносенсора и количества молекул антител, не связавшихся в гомогенный иммунокомплекс со стрептомицином.

Для усиления сигнала пьезокварцевого иммуносенсора осуществляли конъюгацию антител с наночастицами золота, с образованием связей, не затрагивающих сайтов комплементарного взаимодействия и не оказывающих влияния на величину константы аффинности. Исследованы условия определения стрептомицина с применением антител сконъюгированных с наночастицами золота, рассчитаны коэффициенты усиления сигнала, рассчитанные как отношение аналитического сигнала сенсора при применении конъюгатов антител с наночастицами золота к сигналу сенсора, полученному при использовании немодифицированных антител. Получено, что максимальный аналитический сигнал сенсора наблюдается при использовании конъюгатов антител с наночастицами золота диаметром 4 нм, взятых в соотношении 1:2.

Применение наночастиц золота позволило снизить предел обнаружения с 8 нг/мл до 0,2 нг/мл. Градуировочный график линеен в диапазоне концентраций 0,8—120 нг/мл. Правильность способа определения стрептомицина проверена методом «введено-найдено». Продолжительность анализа не превышает 20 минут.

Сенсоры апробированы при определении стрептомицина в курином мясе.

### **Список литературы:**

1. Воронежцева О.В., Ермолаева Т.Н. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2011. Т. 11. № 1. С. 68—76.
2. Воронежцева О.В. Иммунохимические методы определения аминокликозидных и тетрациклиновых антибиотиков, трициклических антидепрессантов.: Автореф. ... дис. к-та хим. наук. Воронеж. 2011. 18 с.
3. Дыкман Л.А., Богатырев В.А., Щеголев С.Ю., Хлебцов Н.Г. Золотые наночастицы: синтез, свойства, биомедицинское применение. — М.: Наука, 2008. — 319 с.
4. Chithrani B. Devika, Ghazani Arezou A., Chan Warren C.W. // Nano Lett. 2006. V. 6 (4). p.p. 662—668.

# **«ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ – ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ»**

Материалы XVI международной заочной научно-практической  
конференции

12 декабря 2012 г.

Под редакцией канд. техн. наук Якова Аркадьевича Полонского

Подписано в печать 19.12.12. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 10,125. Тираж 550 экз.

Издательство «СибАК»  
630075, г. Новосибирск, Залесского 5/1, оф. 605  
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3