

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

# УЧЁНЫЙ

ежемесячный научный журнал

A New Look at Evolution

Outer membrane  
Inner membrane

Membrana  
plasma

Nucleolus

Nucleoplasm

Heterochromatin

Euchromatin

Ribosomes

Nuclear pore

Rough endoplasmic reticulum

Nucleus

Nuclear envelope

Nuclear pore

Ribosomes

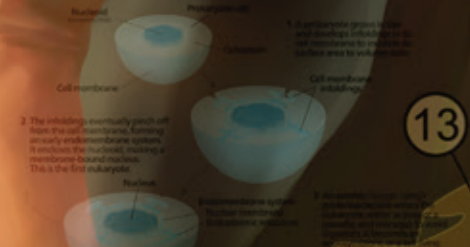
Smooth endoplasmic reticulum

Secretory Vesicle

Lysosome

Golgi apparatus

Plasma membrane



14  
2015  
Часть II

# Eukaryota

Symbiogenesis

Understanding Global Change, 1861

ISSN 2072-0297

# Молодой учёный

Научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 14 (94) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:** Ахметова Галия Дуфаровна, *доктор филологических наук*

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук*

Куташов Вячеслав Анатольевич, *доктор медицинских наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Сараева Надежда Михайловна, *доктор психологических наук*

Авдеюк Оксана Алексеевна, *кандидат технических наук*

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, *кандидат географических наук*

Алиева Тарана Ибрагим кызы, *кандидат химических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Данилов Олег Евгеньевич, *кандидат педагогических наук*

Дёмин Александр Викторович, *кандидат биологических наук*

Дядюн Кристина Владимировна, *кандидат юридических наук*

Желнова Кристина Владимировна, *кандидат экономических наук*

Жуйкова Тамара Павловна, *кандидат педагогических наук*

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, *кандидат педагогических наук*

Игнатова Мария Александровна, *кандидат искусствоведения*

Коварда Владимир Васильевич, *кандидат физико-математических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Кузьмина Виолетта Михайловна, *кандидат исторических наук, кандидат психологических наук*

Кучерявенко Светлана Алексеевна, *кандидат экономических наук*

Лескова Екатерина Викторовна, *кандидат физико-математических наук*

Макеева Ирина Александровна, *кандидат педагогических наук*

Матроскина Татьяна Викторовна, *кандидат экономических наук*

Матусевич Марина Степановна, *кандидат педагогических наук*

Мусаева Ума Алиевна, *кандидат технических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

Прончев Геннадий Борисович, *кандидат физико-математических наук*

Семахин Андрей Михайлович, *кандидат технических наук*

Сенцов Аркадий Эдуардович, *кандидат политических наук*

Сенюшкин Николай Сергеевич, *кандидат технических наук*

Титова Елена Ивановна, *кандидат педагогических наук*

Ткаченко Ирина Георгиевна, *кандидат филологических наук*

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, *кандидат химических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

Ячинова Светлана Николаевна, *кандидат педагогических наук*

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231. E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru); <http://www.moluch.ru/>.

**Учредитель и издатель:** ООО «Издательство Молодой ученый»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 26

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.**

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

**Ответственные редакторы:**

Кайнова Галина Анатольевна

Осянина Екатерина Игоревна

**Международный редакционный совет:**

Айрян Заруи Геворковна, *кандидат филологических наук, доцент (Армения)*

Арошидзе Паата Леонидович, *доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)*

Атаев Загир Вагитович, *кандидат географических наук, профессор (Россия)*

Бидова Бэла Бертовна, *доктор юридических наук, доцент (Россия)*

Борисов Вячеслав Викторович, *доктор педагогических наук, профессор (Украина)*

Велковска Гена Цветкова, *доктор экономических наук, доцент (Болгария)*

Гайич Тамара, *доктор экономических наук (Сербия)*

Данатаров Агахан, *кандидат технических наук (Туркменистан)*

Данилов Александр Максимович, *доктор технических наук, профессор (Россия)*

Демидов Алексей Александрович, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, *доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)*

Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, *доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)*

Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, *доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)*

Игисинов Нурбек Сагинбекович, *доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)*

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, *кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)*

Кайгородов Иван Борисович, *кандидат физико-математических наук (Бразилия)*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук, профессор (Россия)*

Козырева Ольга Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Россия)*

Колпак Евгений Петрович, *доктор физико-математических наук, профессор (Россия)*

Куташов Вячеслав Анатольевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Лю Цзюань, *доктор филологических наук, профессор (Китай)*

Малес Людмила Владимировна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*

Нагервадзе Марина Алиевна, *доктор биологических наук, профессор (Грузия)*

Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, *кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)*

Прокопьев Николай Яковлевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Прокофьева Марина Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)*

Рахматуллин Рафаэль Юсупович, *доктор философских наук, профессор (Россия)*

Ребезов Максим Борисович, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)*

Сорока Юлия Георгиевна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*

Узаков Гулом Норбоевич, *кандидат технических наук, доцент (Узбекистан)*

Хоналиев Назарали Хоналиевич, *доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)*

Хоссейни Амир, *доктор филологических наук (Иран)*

Шарипов Аскар Калиевич, *доктор экономических наук, доцент (Казахстан)*

**Художник:** Шишков Евгений Анатольевич

**Верстка:** Голубцов Максим Владимирович

*На обложке изображена Линн Маргулис (1938—2011) — американский биолог, создатель современной версии теории симбиогенеза.*

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.



## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### **Алиев Н. Э.**

Разработка и отладка программного обеспечения для подавления артефактов в электрокардиограмме ..... 117

#### **Анфилатов А. А.**

Содержание токсичных компонентов дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле ..... 120

#### **Анфилатов А. А.**

Изменения токсичных компонентов в отработавших газах дизеля при работе на метаноле ..... 123

#### **Базухаир М. А.**

Head-mounted display for In-Flight Entertainment systems ..... 126

#### **Береди́на Л. С., Воронова Н. С.**

Исследования органолептических и физико-химических показателей льняного семени как нового функционального ингредиента в молочной промышленности ..... 128

#### **Богомягких В. А., Скудина А. А.**

Влияние влажности зерновых материалов на их истечение из бункера наибольшего расхода .. 131

#### **Богомягких В. А., Скудина А. А.**

Влияние некоторых сводообразующих факторов на время истечения зерновых из бункера наибольшего расхода ..... 133

#### **Богомягких В. А., Скудина А. А.**

Влияние угла укладки зерновок на величину наибольшего сводообразующего размера выпускного отверстия бункера ..... 136

#### **Богомягких В. А., Скудина А. А.**

О частоте пульсации сыпучего тела, выходящего из выпускного отверстия бункера наибольшего расхода ..... 139

#### **Богомягких В. А., Скудина А. А.**

Методика определения коэффициента, характеризующего свойства жидкостной пленки ..... 142

#### **Воронова Н. С., Береди́на Л. С.**

Исследование белков семян льна как полноценных и необходимых для здоровья человека ..... 144

#### **Догарева Н. Г., Ребезов М. Б., Салихова Э. М., Ткачук О. В., Канарейкина С. Г.**

Основные направления развития исследований по переработке молока ..... 147

#### **Догарева Н. Г., Ребезов М. Б., Ткачук О. В., Салихова Э. М., Канарейкина С. Г.**

Перспективные направления развития исследований по переработке молочной сыворотки ..... 149

#### **Желтышева А. С., Юшков Б. С.**

Конструкции фундаментов под водопропускными трубами на автомобильных дорогах устраиваемых на пучинистых грунтах ..... 151

#### **Корниенко Н. Д., Пинчукова К. В.**

Влияние поливинилацетата на качество покрытия при производстве мелованных видов упаковочных материалов ..... 154

#### **Лаптева Е. А., Ишмуратова Л. М.**

Комплексная оценка массообменных и энергетических характеристик барботажных тарелок ..... 157

#### **Лебедева Е. Г., Дзюнин Г. Р.**

Пример решения инженерной задачи при помощи программы CosmosFloWorks ..... 160

#### **Лемешко М. А., Волков Р. Ю., Дмитриенко Н. А.**

Pressure forming mining tool in adaptive cutting . 162

#### **Лопатин О. П.**

Влияние степени рециркуляции на характеристики процесса сгорания тракторного газодизеля ..... 166

#### **Лопатин О. П.**

Влияние степени рециркуляции на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре тракторного газодизеля ..... 168

#### **Мишурина О. А., Муллина Э. Р.**

Химизм процесса электролизного осаждения поливалентных металлов из водных систем ... 171

<b>Пинчукова К. В., Корниенко Н. Д.</b> Анализ эффективности гидрофобизации бумажной упаковки модифицированными формами крахмала ..... 174	<b>Степанова О. А., Ермоленко М. В., Жумажан С. К., Литвинчук А. В., Должиков С. А.</b> Исследование влияния подачи воздуха на потери котельного агрегата ..... 191
<b>Поезжаева Е. В., Новикова А. А., Сайкинова В. А.</b> Робот для исследования грунта в сельском хозяйстве..... 176	<b>Сурков В. О.</b> Сравнительный анализ принципов построения отечественных и зарубежных систем навигации подвижных наземных объектов..... 195
<b>Поезжаева Е. В., Поликарпова К. Н.</b> Роботизация для обеспечения комфорта в промышленных и бытовых помещениях ..... 179	<b>Сурков В. О.</b> Методы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов ..... 198
<b>Савин А. А.</b> Физико-химические факторы, влияющие на формирование техногенных вод и химизм окисления сульфидных минералов ..... 181	<b>Узаков Г. Н., Рузикулов Г., Алиярова Л. А., Узакова Ю. Г.</b> Снижение энергоёмкости систем увлажнения вентиляционного воздуха в плодоовощехранилищах с применением возобновляемых источников энергии ..... 200
<b>Скрябин М. Л.</b> Образование оксидов азота из гемиоксида азота в процессе горения углеводородного топлива 183	<b>Чувашев А. Н.</b> Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента..... 203
<b>Скрябин М. Л.</b> Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива 186	<b>Шинкин В. Н.</b> Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate ..... 205
<b>Скудина А. А.</b> О скважности зернового потока, выходящего из выпускного отверстия бункера наибольшей пропускной способности..... 188	



## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Разработка и отладка программного обеспечения для подавления артефактов в электрокардиограмме

Алиев Нариман Эльшан оглы, магистрант  
Тамбовский государственный технический университет

*В данной статье описана спроектированная программа, представляющая виртуальную программу для подавления артефактов в электрокардиограмме, написанная в среде Mathcad. Так же был построен график спектральной области, по которому можно найти оптимальное решение для подавления артефактов и улучшения самого сигнала.*

Mathcad — система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением, отличается легкостью использования и применения для коллективной работы.

Mathcad был задуман и первоначально написан Алленом Раздовом из Массачусетского технологического института (MIT), соучредителем компании Mathsoft, которая с 2006 года является частью корпорации PTC (Parametric Technology Corporation).

Mathcad имеет интуитивный и простой для использования интерфейс пользователя. Для ввода формул и данных можно использовать как клавиатуру, так и специальные панели инструментов.

Работа осуществляется в пределах рабочего листа, на котором уравнения и выражения отображаются графически, в противовес текстовой записи в языках программирования. При создании документов-приложений используется принцип WYSIWYG (*What You See Is What You Get* — «что видишь, то и получаешь»).

Несмотря на то, что эта программа, в основном, ориентирована на пользователей-непрограммистов, Mathcad также используется в сложных проектах, чтобы визуализировать результаты математического моделирования путем использования распределённых вычислений и традиционных языков программирования. Также Mathcad часто используется в крупных инженерных проектах, где большое значение имеет трассируемость и соответствие стандартам.

Mathcad достаточно удобно использовать для обучения, вычислений и инженерных расчетов. Открытая архитектура приложения в сочетании с поддержкой тех-

нологий.NET и XML позволяют легко интегрировать Mathcad практически в любые ИТ-структуры и инженерные приложения. Есть возможность создания электронных книг (e-Book).

Количество пользователей в мире — около 1.8 млн.

Актуальность темы обусловлена тем, что во время формирования данных в Холтеровском мониторинге (ХМ) ЭКГ почти всегда возникают эпизоды искажения ЭКГ сигнала — артефакты. Артефакты являются ахиллесовой пятой при Холтеровском мониторинге. Основные сложности в расшифровке результатов мониторинга, как правило, связаны с артефактами, имитирующими нарушения ритма сердца. Псевдоаритмии могут серьезно повлиять на результаты исследования и в конечном итоге на постановку правильного диагноза и определение всей тактики ведения больного.

Суть способа: алгоритм уменьшает влияние артефактов на поток ЭКГ, при этом незначительно искажая комплексы QRS. Алгоритм состоит из Модуля Обновления усредненного комплекса QRS с малым N, Модуля Обновления усредненного комплекса QRS с большим N и Функции Вычитания усредненного комплекса из текущей ЭКГ, дающей на выходе разностный сигнал. Разностный сигнал проходит через фильтры нижних и верхних частот, после чего складывается с усредненным комплексом с малым N и с большим N, при этом блок принятия решения (БПР) выбирает, пропустить ли полученный сигнал, чтобы подавить артефакт на выходном сигнале. (Рисунок 1)

Совокупность существенных признаков изобретения обеспечивает достижение технического результата, получаемого при осуществлении изобретения, в виде воз-

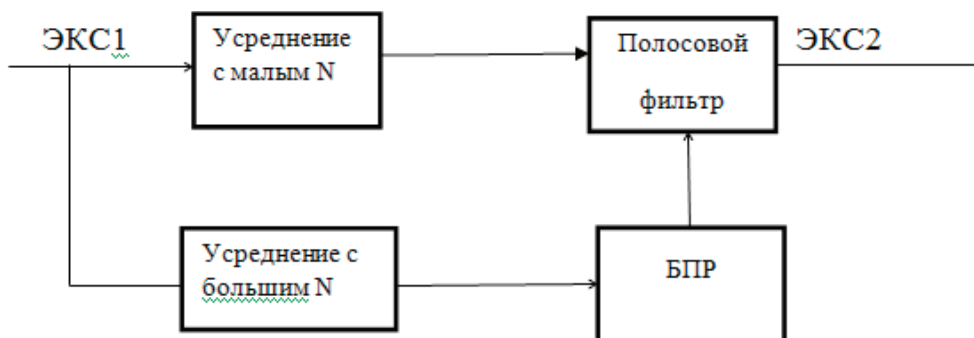


Рис. 1. Блок-схема адаптивного фильтра

возможности созданию новых образцов электрокардиографов с улучшенными возможностями подавления артефактов.

Модель разработанного способа заключается в том, что мы подавляем артефакты в ЭКГ и из временной области переходим в спектральную через преобразование Фурье, для определения оптимального нахождения  $m$  (определение верхней помехи НЧ границы) и выделения на сигнале именно артефакта и уменьшения его, не подавляя при этом полученный на выходе сигнал, который тоже выравнивается по амплитуде и по времени.

На рисунке 2 видно, что амплитуда полученного сигнала стала меньше и более равномерна, что было задумано осуществить. При этом выделен сигнал артефакта из исходного сигнала и обработан через адаптивный фильтр, что привело к уменьшению артефакта, не искажая сам сигнал.

Через спектральную область выбрано оптимальное значение  $m$ , которое лежит в диапазоне от 0 до 9.

Далее на рисунке 3 продемонстрирован анализ спектра ЭКС. Рассматривается ЭКС без артефакта, с артефактом, и графики их спектров соответственно.

Если не сделать спектральный анализ ЭКС, и ошибиться в границе выбора решения, то можно исказить форму сигнала, что нежелательно и не нужно. Это очень хорошо продемонстрировано на рисунке 4, где рассматривается ЭКС с артефактом и значениями  $m$  равными 10, 12 и 15.

### Заключение

Была написана программа в программной среде Mathcad, реализующая подавление артефактов в ЭКГ. Были получены промежуточные и конечные результаты в виде изображений. Был приведен пример работы программы.

Таким образом, можно сказать, что разработанный способ эффективно подавляет артефакты в электро-

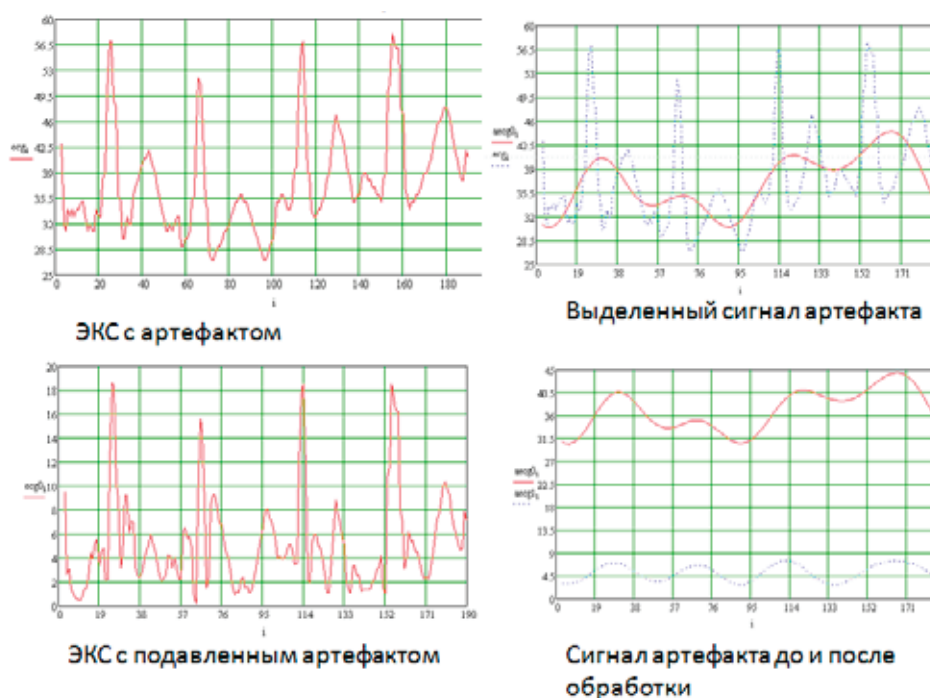


Рис. 2. Результаты исследований



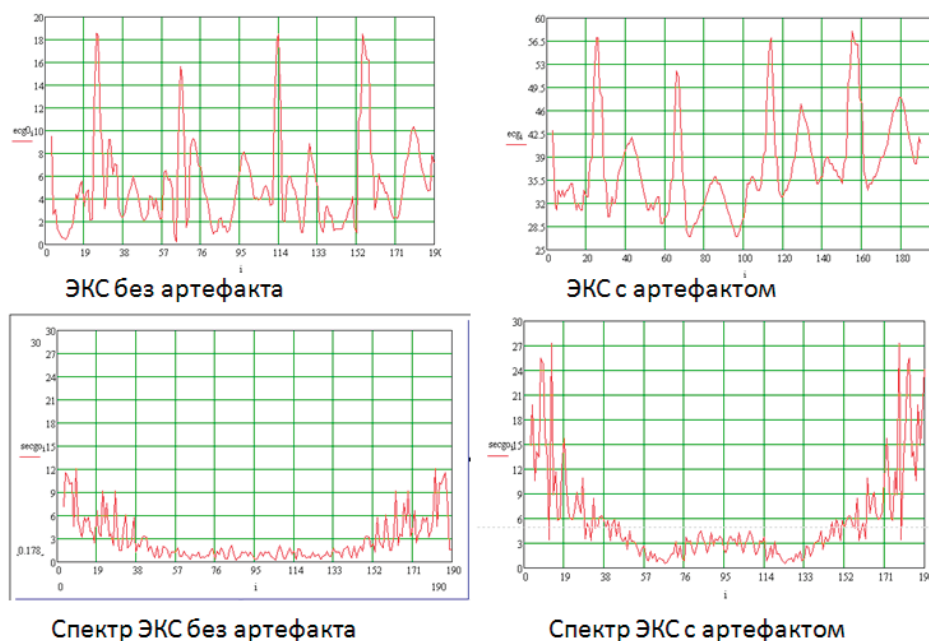


Рис. 3. Анализ спектра ЭКС

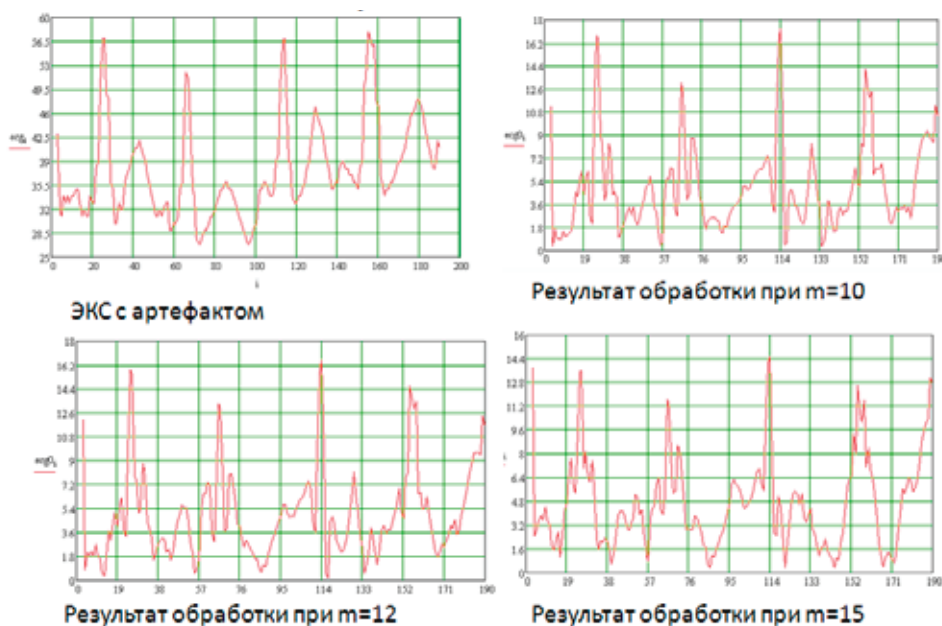


Рис. 4. Результаты исследований при изменении  $m$

кардиограмме, не подавляя сам сигнал и на этой основе можно продолжать дальнейшее развитие в этой области

и непосредственно совершенствовать данную программу в лучшую ее сторону.

Литература:

1. Адаптивные фильтры [Текст] / Под ред. Ф.Н. Коуэна и П.М. Гранта. — М.: Мир, 1988, 392 с.
2. Синютин, С.А. Анализ RR интервального ряда водителя в условиях сильных помех с помощью Wavelet преобразования [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, № 3. — Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/919> (доступ свободный) — Загл. с экрана. — Яз. рус.
3. Тарасова И.А., Леонова А.В., Синютин С.А. Алгоритмы фильтрации сигналов биоэлектрической природы [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, № 4 (часть 2). — Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1481> (доступ свободный) — Загл. с экрана. — Яз. рус.

4. Синютин, С. А., Сахаров В. Л. Определение мощности, развиваемой человеком при ходьбе по измерению ускорений [Текст] // Рассеяние электромагнитных волн. Межвед. сб. науч. — техн. статей. — Вып. 16/ Под ред. Ю. В. Юханова. — Таганрог: ТТИ ЮФУ. — 229с.

## Содержание токсичных компонентов дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

*В работе приводятся результаты влияния применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) в зависимости от различных установочных УОВТ на содержание токсичных компонентов в отработавших газах в зависимости от изменения частоты вращения.*

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи.

Влияние применения метанола с ДСТ на содержание токсичных компонентов в ОГ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на различных видах топлива представлены на рисунке 1. Увеличение частоты вращения сопровождается увеличением выбросов общего количества токсичных компонентов в ОГ дизеля, кроме оксидов азота, содержание которых при этом снижается [1–9].

Как видно из графиков, для дизеля, работающего на метаноле с ДСТ, характерно снижение содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ по отношению к дизелю при работе на ДТ на всех исследуемых скоростных режимах. Так, если у дизеля при работе на ДТ содержание оксидов азота в ОГ уменьшается с 480 ppm при частоте вращения  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 375 ppm при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , то у дизеля, работающего на метаноле с ДСТ, содержание  $\text{NO}_x$  снижается, соответственно, с 310 ppm до 255 ppm. В процентном отношении это снижение составляет при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  35,4%, а при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  32,0% [10–16].

Это объясняется, очевидно, в первую очередь тем, что при работе дизеля на метаноле, вследствие особенности химического состава метанола (химическая формула метилового спирта —  $\text{CH}_3\text{OH}$ ) и химизма процесса горения, образование быстрых оксидов азота носит преимущественный характер, замещая в общем балансе образования оксидов азота образование оксидов азота, получаемых по термическому механизму, или так называемых термических оксидов азота, что не может не сказаться на общем снижении содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ. Содержание сажи в ОГ дизеля меняется при работе дизеля на ДТ с 3,7 единиц по шкале bosch при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 6,8 единицы по шкале bosch при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , а при работе дизеля на метаноле с ДСТ — с 0,65 единицы по шкале bosch при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 1,05 единицы по шкале bosch при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Содержание сажи в ОГ при увеличении частоты вращения от 1200 до 2000  $\text{мин}^{-1}$  возрастает на 83,7% при работе дизеля на ДТ и увеличивается

на 61,5% при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Содержание сажи в ОГ при частоте вращения  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  уменьшается с 3,7 единиц по шкале bosch у дизеля, работающего на ДТ, до 0,65 единицы по шкале bosch у дизеля, работающего на метаноле с ДСТ. Происходит снижение в 5,7 раза [17–24].

Содержание сажи в ОГ при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  у дизеля, работающего на ДТ, составляет 6,8 единицы по шкале bosch, а у дизеля, работающего на метаноле с ДСТ, содержание сажи снижается до 1,05 единицы по шкале bosch. Это снижение при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  происходит в 6,5 раза. Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ дизеля меняется при работе на ДТ с 0,35% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 0,10% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , а при работе на метаноле с ДСТ — с 0,10% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 0,21% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Снижение  $\text{CH}_x$  при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  составляет 71,4%. Увеличение содержания  $\text{CH}_x$  при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  составляет 110,0%. Содержание  $\text{CO}$  в ОГ дизеля изменяется при работе на ДТ с 0,49% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 0,29% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . При работе дизеля на метаноле с ДСТ содержание  $\text{CO}$  в ОГ составляет 0,24% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ , а затем возрастает до 0,27% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Содержание  $\text{CO}$  в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  снижается с 0,49% до 0,24%, а при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  — с 0,29% до 0,27%, или на 51% и 6,9% соответственно. Содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ изменяется при работе дизеля на ДТ с 3,6% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 3,8% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . При работе дизеля на метаноле с ДСТ содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ изменяется с 3,9% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  до 4,6% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . Увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ составляет 8,3% при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  и 21,0% при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ .

Таким образом, при подаче 93% метанола и 7% запального ДТ возможно получение следующих результатов: снижение содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ составляет от 35,4% при  $n = 1200$

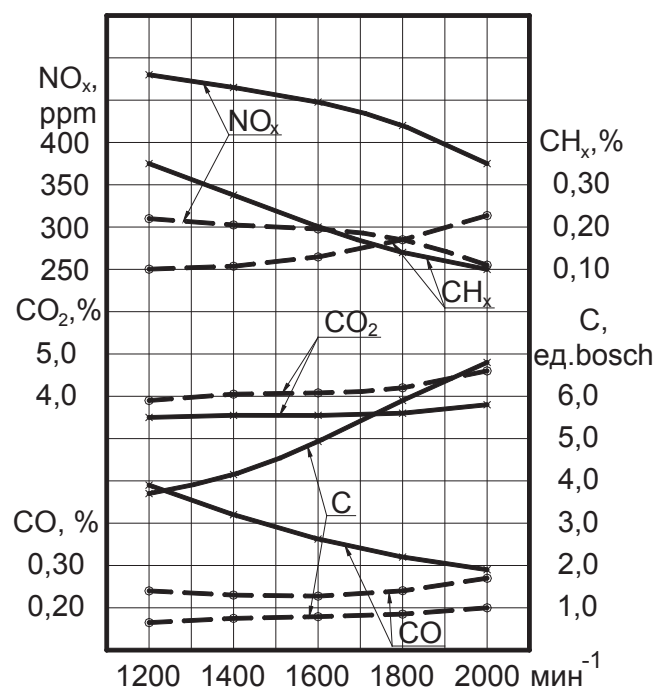


Рис. 1. Влияние применения метанола с ДСТ на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0  $\Theta_{дт} = 34^\circ$  и  $\Theta_{м} = 34^\circ$  в зависимости от изменения частоты вращения;  $\frac{3}{4}$  — дизельный процесс; — — — метанол с запальным ДТ

мин<sup>-1</sup> до 32% при  $n = 2000$  мин<sup>-1</sup>; снижение содержания сажи в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ происходит в 5,7 раза при  $n = 1200$  мин<sup>-1</sup> и в 6,5 раз при  $n = 2000$  мин<sup>-1</sup>; снижение содержания СО в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ составляет от 51% при  $n = 1200$  мин<sup>-1</sup> до 6,9% при  $n = 2000$  мин<sup>-1</sup>; увеличение содержания

СО<sub>2</sub> в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ составляет от 8,3% при  $n = 1200$  мин<sup>-1</sup> до 21,0% при  $n = 2000$  мин<sup>-1</sup>; снижение содержания СН<sub>x</sub> в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ составляет 71,4% при  $n = 1200$  мин<sup>-1</sup>, увеличение содержания СН<sub>x</sub> — 110,0% при  $n = 2000$  мин<sup>-1</sup> [25–27].

Литература:

1. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
2. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
3. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
4. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
5. Скрябин, М. Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
6. Скрябин, М. Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
7. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.

8. Скрябин, М.Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением надвучного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
9. Скрябин, М.Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.
10. Скрябин, М.Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
11. Скрябин, М.Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.
12. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
13. Скрябин, М.Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91).С. 445–448.
14. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
15. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
16. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 298–301.
17. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
18. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
19. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
20. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
21. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
22. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением надвучного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 1. с. 11–13.
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
25. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Олейник М. А., Дубинецкий В. Н. Особенности химизма и феноменологии образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 11. С 13–16.
26. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
27. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.

## Изменения токсичных компонентов в отработавших газах дизеля при работе на метаноле

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В работе приводятся результаты влияния применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) при оптимальных значений установочных УОВТ на содержание токсичных компонентов в отработавших газах при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ .

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи.

Влияние применения метанола на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала ( $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ ) и оптимальных значений установочных УОВТ представлены на рисунке 1 [1–9].

Анализируя изменения значений содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить следующее. Содержание оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки.

Так, при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  содержание оксидов азота в ОГ снижается с 225 ррм при работе дизеля на ДТ до 215 ррм при работе на метаноле с ДСТ, или на 4,4%. При  $p_e$

$= 0,55 \text{ МПа}$  снижение содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ еще более существенно. Если при работе дизеля на ДТ содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ составляет 420 ррм, то при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ — только 285 ррм. Снижение составляет 32,1%. При максимальных нагрузках (при  $p_e = 0,65 \text{ МПа}$ ) снижение составляет от 380 ррм при работе дизеля на ДТ до 250 ррм при работе дизеля на метаноле с ДСТ, или 34,2% [10–18].

Существенно снижается в ОГ содержание сажи при работе дизеля на метаноле с ДСТ во всем исследуемом диапазоне нагрузок. Так, при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  содержание сажи в ОГ снижается с 2,1 единицы по шкале bosch при работе дизеля на ДТ до 0,1 единицы по шкале bosch при работе дизеля на метаноле с ДСТ. При максимальных нагрузках (при  $p_e = 0,65 \text{ МПа}$ ) содержание сажи в ОГ снижается от 6,5 единицы по шкале bosch при работе на ДТ

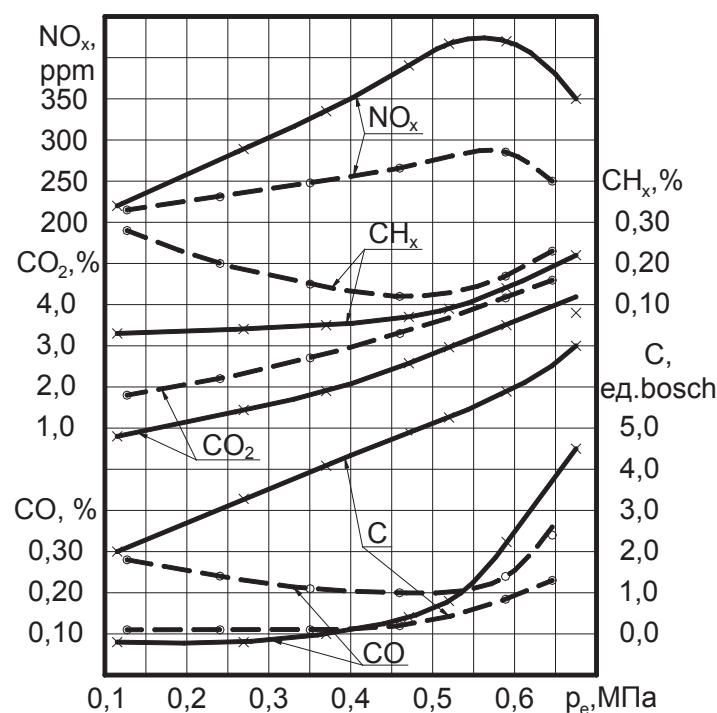


Рис. 1. Влияние применения метанола с ДСТ на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0  $\Theta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$  и  $\Theta_{\text{М}} = 34^\circ$  в зависимости от изменения нагрузки при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\frac{3}{4}$  — дизельный процесс; — — — метанол с запальным ДТ



до 1,3 единицы по шкале bosch при работе дизеля на метаноле с ДСТ, или в 5 раз.

Анализируя содержание в ОГ суммарных углеводородов, можно констатировать следующие закономерности: содержание  $\text{CH}_x$  при работе дизеля на ДТ при увеличении нагрузки растёт, а при работе на метаноле содержание  $\text{CH}_x$  сначала снижается, а затем возрастает и имеет значения выше, чем при работе на ДТ во всем диапазоне нагрузок. При  $p_e = 0,127$  МПа и работе дизеля на метаноле с ДСТ значение  $\text{CH}_x$  в ОГ составляет 0,28%, а при работе на ДТ — 0,03%. Затем содержание  $\text{CH}_x$  при работе дизеля на метаноле с ДСТ снижается до 0,12% при  $p_e = 0,47$  МПа. Значение содержания  $\text{CH}_x$  при работе на ДТ составляет при этом 0,07%. Затем величина  $\text{CH}_x$  возрастает до 0,23% при  $p_e = 0,65$  МПа, в то время как при работе дизеля на ДТ содержание  $\text{CH}_x$  составляет лишь 0,19% [19–25].

Также необходимо отметить, что при работе дизеля на метаноле с ДСТ возрастает содержание СО в ОГ на малых и средних нагрузках (до  $p_e = 0,55$  МПа). При работе дизеля на метаноле с ДСТ и  $p_e = 0,127$  МПа содержание СО в ОГ составляет 0,28%, а при работе на ДТ — 0,08%. Происходит увеличение в 3,5 раза. Однако с увеличением нагрузки содержание СО при работе на метаноле в ОГ дизеля снижается и при значении  $p_e = 0,55$  МПа сравнивается со значениями содержания СО в ОГ при работе

дизеля на ДТ и составляет 0,21%. При дальнейшем увеличении нагрузки содержание СО в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ лежит ниже значений содержания СО при работе дизеля на ДТ и при  $p_e = 0,65$  МПа составляет 0,35% против 0,48% соответственно. Снижение составляет 27%.

Это объясняется тем, что суммарные углеводороды и оксид углерода являются продуктами неполного сгорания и что на увеличение их процентного содержания в ОГ оказывает влияние ухудшение процесса сгорания на малых нагрузках из-за переобеднения смеси вследствие воспламенения запальным ДТ. В результате на малых нагрузках процесс распространения фронта пламени и весь процесс сгорания в целом протекает более «вяло», способствуя неполному сгоранию топлива и, как следствие, ухудшению эффективного к.п.д.

Содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при изменении нагрузки мало зависит от вида топлива и изменяется практически по одной зависимости, хотя значения  $\text{CO}_2$  при работе дизеля на метаноле с ДСТ во всем диапазоне выше значений содержания  $\text{CO}_2$  в ОГ при работе дизеля на ДТ и растут от 1,8% при  $p_e = 0,127$  МПа до 4,6% при  $p_e = 0,65$  МПа, в то время как при работе дизеля на ДТ при этих же нагрузках содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ составляет 0,8% и 4,0% соответственно. Происходит увеличение в 2,25 раза и на 15% соответственно [26–28].

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
2. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
3. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
4. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
5. Скрябин, М. Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
6. Скрябин, М. Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
7. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
8. Скрябин, М. Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
9. Скрябин, М. Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.

10. Скрябин, М.Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
11. Скрябин, М.Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.
12. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
13. Скрябин, М.Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91).С. 445–448.
14. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажеосодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
15. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
16. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 298–301.
17. Лиханов, В.А., Лопатин О.П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
18. Лиханов, В.А., Лопатин О.П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
19. Лиханов, В.А., Лопатин О.П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
20. Лиханов, В.А., Лопатин О.П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
21. Лиханов, В.А., Лопатин О.П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
22. Лиханов, В.А., Лопатин О.П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
23. Лиханов, В.А., Лопатин О.П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 1. с. 11–13.
24. Лиханов, В.А., Лопатин О.П., Шишканов Е.А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
25. Лиханов, В.А., Лопатин О.П., Олейник М.А., Дубинецкий В.Н. Особенности химизма и феноменологии образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 11. С 13–16.
26. Лиханов, В.А., Лопатин О.П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
27. Лиханов, В.А., Лопатин О.П., Анфилатов А.А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
28. Лиханов, В.А., Лопатин О.П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.

## Head-mounted display for In-Flight Entertainment systems

Базухаир Мохаммед Ахмед, студент

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева

Bazuhair M. A.

Department of Aerospace Engineering, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI

*Optical head-mounted displays (OHMDs) as augmented reality devices increasingly find applications in aviation industries. Being limited to simulation and training programs, OHMDs are still away from extracting sufficiently their promising potentials, especially concerning In-Flight Entertainment (IFE) experience improvement and passenger luxury enhancement. This paper outlines basic technical requirements for OHMDs, installable on future IFE passenger cabins.*

### 1. Introduction

Application of head-up displays (HUDs) for fighter jet and helicopter cockpits in 1970s put the first steps for augmented reality devices to be effectively implemented in aerial vehicles. Later, helmet-mounted displays (HMDs), with a small display optic in front of one (monocular HMD) or each eye (binocular HMD), were developed to be worn on the head of pilots, providing them with key navigation data and high targeting capabilities, especially during night close combats [1].

HUDs have been introduced to commercial aircraft cockpit. Many aviation corporations and companies included HUDs into their cockpit instrument panels, e.g. B787 and A380 [2, 3]. For example, the conformal HUD secondary system of A380 presents essential flight information and guidance to the pilot in his forward field of view for all flight phases. It is a see-through device accurately, displaying collimated flying symbols overlaying the real outside world view [3].

Optical head-mounted displays (OHMDs) as wearable devices became the next generation of HMDs. In aviation, their early application was limited to flight and combat simulation within training programs. This technology allows virtually placing a trainee in a situation that is either too expensive or too dangerous to replicate in real-life [4]. Recently, new prototypes of unmanned flying vehicles (UAV) such as drones and quadcopters, mounted with video cameras and driven by First Person View (FPV) systems have been developed. Basically, they use, as an example, a platform of Moverio BT-200 wearable glasses and a sufficient operative system, where real-time quadcopter cockpit view with all the telemetry in flight can be remotely projected to ground operator [5].

However, neither current conceptual projects nor already demonstrated prototypes propose effective integration of HMDs with aircraft passenger cabin in-flight entertainment (IFE) systems until the end of 2014. Since, a filed patent from Airbus Operations Sector inventor, firstly, revealed innovative solution, which combines HMD advantages as luxury and option abundance with IFE options. A passenger seat headrest supplied with helmet that partially

houses the head of passenger, while being attached to fixed carrier [6]. Further, the entertaining content is displayed to the passenger by a transparent movable display at eye level. The passenger, i.e. user inputs his commands by widespread joystick tool, or optionally by a projected laser keyboard on seatback meal desk.

In this paper we suggest a heuristic methodology based on meeting definite technical requirements for prospective wearable IFE systems to be considered by their developers through inventing process.

### 2. Technical requirements

Optimization of wearable IFE performance is associated with technology progress trends so as to make final products sustainable and viable even after many years next. Therefore, main focus is paid to the following key features, which need thorough conformity according to available manufacture and production technologies, no matter wither being already tested or not related yet to aviation fields.

1) **Weight reduction.** Whereas IFE specialized for entertaining, they must result the lowest, feasibly achieved, load effect on aircraft total weight ratio. Integration of OHMDs with new IFE systems will significantly reduce their weight by the half. Furthermore, it is expected to continue such tempo as nanotechnology market promises to shrink contentiously eyewear displays to the size of an eye pupil.

In this context, analysis of Airbus proposal, showed in Figure 1 (C), remarkably lacks to meet the described herein requirement, even though smaller OHMDs have been available so long prior to patent application date, beginning from 1995 [7]. This result caused by the inventor preference to use well tested technology rather than a newly developed one. Comprehensive analysis of such a new technology promising features by professional experts is able to envision their prospects as in the case of OHMDs. The long time periods between aircraft documentation and production phases are a key factor of the highlighted problem.

2) **Security enhancement.** Wide feel of IFE system high protection against meddlesome attacks and misuse lasted a long. Recently, it has undergone a hard shock after an Amer-

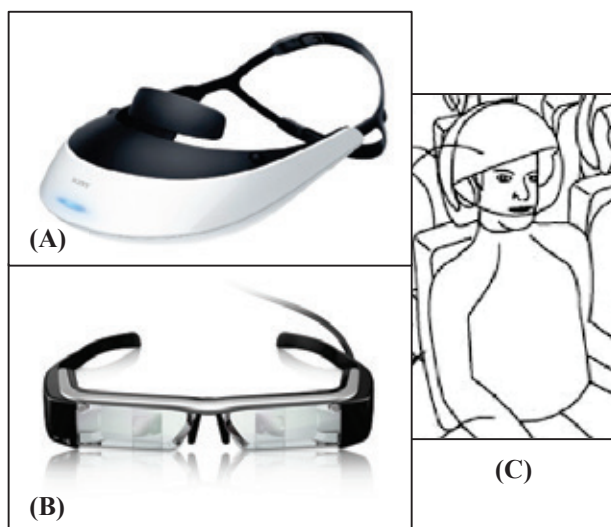


Fig. 1. available OHMDs for IFE systems

ican cybersecurity consultant got into flight control system up to 20 times during three years of his traveling, meanwhile diverting aircraft shortly from its given flight course [8]. The hacker claimed connecting to aircraft systems through passenger seat electronics box using typical plug hardware, attachable to Panasonic and Thales IFE systems, which are installed on both Boeing and Airbus airliners.

Such incident revealed many security gaps, represented in putting seat electronics box at easy to reach place, providing full accessibility of any unauthorized side. In fact, this could be the same problem for OHMDs if connecting wires and plugs remain naked to the hand of passengers. Thus, their design must have built-in plugs to neutralize hacker misuse and lessen their accessibility.

3) **Low power consumption:** modern IFE Power Supply Unit (PSU) consumes in minimum over than 300W [10]. It means that for B747–400 maximum seating with 624 passengers [9], the total consumption increases to almost 187kW. In contrast, the implementation of OHMDs in IFE system is capable of reducing power consumption, since it uses more efficient mini-projectors and electronic circuits.

4) **Mobility:** one of the biggest disadvantages of current IFE displays is their limited angular range of watching. Passenger maintains a fixed neck and head position during long periods causing, in many cases, pains at those areas, exhaustion and boring. For international airliners that carry in the most foreign passengers, translated movies on-demand occupy the top of passenger favorite IFE services. Nevertheless, the relatively small dimensions of IFE screens with 15 inches diagonally make it hard to concentrate on tiny translated texts from seating distance, resulting aforementioned physical problems. This problem remarkably will worsen with use of Airbus newly patented headrest HMD.

From this prospective, only OHMDs have the best concurrent features to overcome dimension restrictions with their very wide display feature up to 40 inches at 2.5 m from the virtual screen, e.g. Moverio BT-200 [11]. Wearing OHMDs

makes no restrictions for passenger motion in all directions, positions, providing one of major satisfaction requirements of each future passenger.

5) **Interactivity:** current IFE touch screens offer a single aspect of interactivity based on joystick for data input. However, current OHMDs are supported by light, motion and voice sensors, capable to give the passenger utmost entertainment. They provide the ability to interact with videogame characters using 3D display and facial motions, voice commands and etc., and even to have onboard medical care using pertaining sensors for temperature and blood circulation. All these minuscule sensors are attached to OHMDs frame and lenses, keeping wearable device total weight within limits.

6) **Multituse:** is defined as the ability of IFE system to perform more than only entertainment services. For example, Thales IFE services can range from video and audio on-demand up to meal ordering, online phone calls and internet browsing, including Wi-Fi connectivity etc. Such features are supportable by OHMDs hardware and software.

7) **Aesthetic design:** future sophisticated passenger cabins are going to be designed according to aesthetic scenery that resurrects more psychological satisfaction. Current IFE proposals with HMDs would restrict passenger cabin interior designers as the headrest-fixed hamlets should be taken in regard.

Such problem is avoidable with the use of small size OHMDs similar to Moverio BT-200, completely designable to be hidden inside armrest or backseat built-in carrier.

Accordingly, we have shown the prospect of OHMDs implementation in IFE systems onboard future aircrafts. Mean conclusions are high competitiveness of OHMDs in terms of weight, power consumption, mobility and aesthetic designs towards currently widespread 2D touch screens. Future passenger cabins will be supplied with many sophisticated IFE systems, e.g. holographic and 3D screens, but OHMDs with augmented reality would be widely implemented.



## References:

1. Spitzer, Cary R., ed. «Digital Avionics Handbook». Head-Up Displays. Boca Raton, FL: CRC Press, 2001.
2. Norris, G.; Thomas, G.; Wagner, M. & Forbes Smith, C. (2005). Boeing 787 Dreamliner — Flying Redefined. Aerospace Technical Publications International. ISBN 0–9752341–2–9.
3. Eric ALBERT, Head-Up Display system. Airbus industries. [http://www.airbus.com/fileadmin/media\\_gallery/files/brochures\\_publications/FAST\\_magazine/fast46–7-headup-display.pdf](http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/brochures_publications/FAST_magazine/fast46–7-headup-display.pdf)
4. Head-mounted display. Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted\\_display](http://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted_display)
5. The Ultimate FPV System Guide. Dronethusiast. <http://www.dronethusiast.com/the-ultimate-fpv-system-guide/>
6. Bernard Guering, US patent № 8814266 B2 published in 26.08.2014. <http://www.google.com/patents/US8814266>
7. Optical head-mounted display // Notable manufacturers. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\\_head-mounted\\_display](https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_head-mounted_display)
8. FBI: Hacker claimed to have taken over flight's engine controls. CNN International Edition. <http://edition.cnn.com/2015/05/17/us/fbi-hacker-flight-computer-systems/>
9. Boeing 747–400. Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/Boeing\\_747#747–400](http://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_747#747–400)
10. R. Deluca, L. Rozenblat, powering in-flight entertainment. TDI Power, 2008. [http://www.tdipower.com/PDF/white\\_paper/TW0061.pdf](http://www.tdipower.com/PDF/white_paper/TW0061.pdf)
11. Moverio™ BT-200 Smart Glasses // Developer Version. Epson America. <http://www.epson.com/cgi-bin/Store/jsp/Product.do?sku=V11H560020>

## Исследования органолептических и физико-химических показателей льняного семени как нового функционального ингредиента в молочной промышленности

Бередина Лидия Сергеевна, студент;

Воронова Наталья Сергеевна, кандидат технических наук, доцент

Кубанский государственный аграрный университет

За последние годы образ жизни современного человека значительно изменился, в отличие от образа жизни современника прошлых лет. Существенно изменилось и его питание, в связи с изменениями социального и техногенного факторов.

Стали прилагаться большие усилия к тому, чтобы обогатить пищу более полезными веществами. Эти продукты должны содержать необходимые для организма человека нутриенты и регулировать концентрацию вредных веществ в нем, а так же выполнять защитные функции организма.

В связи с этим появились функциональные пищевые продукты, которые содержат ингредиенты, приносящие пользу здоровью человека и повышающие его сопротивляемость к заболеваниям. Функциональные продукты способны улучшить многие физиологические процессы в организме человека [1, с. 943].

Польза функциональных продуктов питания:

- улучшают деятельность пищеварительной системы;
- способствуют омоложению организма;
- повышают активность и жизненный тонус;
- приводят в норму артериальное давление;
- помогают выведению из организма вредных токсинов;
- повышают защитные силы организма;
- улучшают работу сердца;

– помогают при ожирении и борьбе с лишним весом.

Молоко является отличным сырьем для производства функциональных продуктов питания. Оно обладает наиболее выраженными взаимообогащительными свойствами, чем другие продукты. Так и были созданы новые функциональные молочные продукты, которые улучшают здоровье человека [2, с. 44].

Основным направлением производства функциональных молочных продуктов является регулирование аминокислотного, жирнокислотного, углеводного, минерального и витаминного составов [3, с. 26].

Функциональные молочные продукты комбинируют с различными добавками растительного происхождения, это обеспечивает высокий уровень сбалансированности пищи по аминокислотному и витаминному составу. Кроме того, наличие в добавках балластных веществ (пектина, целлюлозы, гемицеллюлозы и др.) влияет на моторную и пищеварительную системы, а также на течение липидного обмена [4, с. 46].

В основе создания функциональных молочных продуктов лежит модификация традиционных продуктов питания, обеспечивающая повышение содержания в них полезных ингредиентов до уровня, соотносимого с нормами их потребления [5, с. 37].

Семена льна и продукты их переработки обладают уникальным биохимическим составом, широким кругом



свойств и набором биологически активных веществ. Они являются перспективным функциональным ингредиентом для производства функциональных молочных продуктов питания.

Семена льна являются ценным пищевым сырьем, так как содержат в своем составе все необходимые для жизнедеятельности человека макро- и микроэлементы: белки, липиды с высоким содержанием ПНЖК, усвояемые углеводы (сахароза, крахмал, декстрины), пищевые волокна, лигнаны, витамины группы В (В1, В2, В5, РР), витамин С, токоферолы, минеральные вещества (фосфор, калий, магний, железо, марганец, цинк, кальций, натрий) [6, с. 17].

Для исследований использовали семена льна масличного, из за их территориальной особенности. Культура льна масличного менее требовательна к влаге в почве, и ей требуется более теплый климат. Именно такой климат и такое содержание влаги в почве в степях Кубани, Северного Кавказа. Лен масличный используют именно для пищевых целей в масложировой промышленности, так как в нем находится большее количество масла, чем в других культурах льна.

Представленные для исследований образцы оценивали по следующим органолептическим показателям: вкус, запах цвет, в соответствии с требованиями, приведенными в таблице 1.

Таблица 1. Органолептические показатели семян льна

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид	Семена целые, нормально развитые, на изломе плотные
Цвет	Светло-коричневый
Запах	Характерный приторный запах
Вкус	Свойственный семенам льна, без постороннего привкуса и горечи

Линейные размеры длина — 3,8 мм, ширина — 1,8 мм, толщина — 0,9 мм. Абсолютная масса 1000 штук от 3,6 г до 9,4 г, относительная плотность — 1,069 г/см<sup>3</sup>-1,196 г/см<sup>3</sup>. Влажность ядер семян льна от 6,3% до 8,7%. Ка-

лорийность семян льна составляет в среднем 534 ккал на 100 г продукта. В таблице 2 представлен химический состав семян льна [7, с. 27].

Таблица 2. Химический состав семян льна

Компоненты	Масса на 100г съедобной части
Белки	18,29
Жиры	42,16
Углеводы	1,58
Пищевые волокна, в том числе:	27,3
— клетчатка	7
Зола	3,72
Вода	6,96
Моно- и дисахариды	1,55
Насыщенные жирные кислоты	3,663

Химический состав семян льна, свидетельствует о том, что семена льна содержат все необходимые для жизнедеятельности человека макро- и микронутриенты: белки, жиры, углеводы, минеральные вещества, витамины, что позволяет рассматривать их в качестве функционального ингредиента для производства пищевых молочных продуктов функционального назначения.

Уникальность семени льна в том, что оно содержит одновременно три группы веществ, важных для здоровья человека: альфа-линоленовую кислоту (растительные омега-3 жирные кислоты), лигнаны и растворимую клетчатку.

Одной из полезных и жизненно важных характеристик семян льна является высокое содержание омега-3 жирных

кислот. Среди растительных продуктов семена льна стоят на первом месте по их содержанию. Омега-3 жиры помогают предотвращать болезни сердца, инсульт, волчанку, экзему и ревматоидный артрит и играют защитную роль при раке. Альфа-линоленовая кислота помогает защитить сосуды от воспалительных повреждений и способствует нормализации сердечного ритма. Есть несколько исследований, показавших, что омега-3 жирные кислоты способны остановить склерозирование артерий и процесс образования тромба (налипания клеток крови на стенки сосудов) [8, с. 29].

Льняное семя является самым богатым источником лигнанов, которые относятся к классу фитоэстрогенов. Лигнаны оказывают предотвращающее действие на

разных стадиях канцерогенеза, нарушая рост опухолевых клеток. Лигнаны семян льна обладают мощным антиоксидантным действием. Из-за этого они рекомендуются при лечении атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний [9, с. 165].

Льняное семя содержит растворимую и нерастворимую клетчатку. Особую ценность имеет водорастворимая, гелеобразующая клетчатка, чрезвычайно комфортная для желудочно-кишечного тракта. Обволакивающая слизь водорастворимой клетчатки предотвращает слишком быстрое опорожнение содержимого желудка в тонкий кишечник, что улучшает поглощение питательных веществ в тонком кишечнике. Именно поэтому льняное семя це-

лительно при различных заболеваниях пищеварительной системы.

Семя льна содержит витамины А, Е, В и является отличным внешним источником витамина F, участвующего в жировом и холестериновом обмене (этот витамин не синтезируется в организме) [10, с. 109].

Аминокислотный состав белка льняного семени аналогичен составу растительных протеинов сои, которые сбалансированы по незаменимым аминокислотам.

Учитывая физико-химический состав и полезные свойства семени льна, его можно рекомендовать для использования в пищевой промышленности в качестве функционального ингредиента [11, с. 105, 12, с. 100].

#### Литература:

1. Воронова, Н. С. Распределение электрофоретических фракций белковых изолятов из подсолнечного жмыха / Н. С. Воронова, Д. В. Овчаров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 10(104). с. 943–952. — IDA[article ID]: 1041410070. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/70.pdf>, 0,625 у.п.л.
2. Бердина, А. Н. Биологическая ценность семян подсолнечника и продуктов их переработки / А. Н. Бердина, Н. В. Ильчишина, Н. С. Безверхая // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2008. — № 5–6. — с. 44–45.
3. Бердина, А. Н. Аминокислотный состав липопротеинов подсолнечника и пшеницы / А. Н. Бердина, Н. В. Ильчишина, Н. С. Безверхая // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2008. — № 2–3. — с. 26–28.
4. Безверхая, Н. С. Влияние ферментативной модификации белкового изолята из подсолнечного жмыха на качество мучных кондитерских изделий / Н. С. Безверхая, Н. В. Ильчишина // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2011. — № 4 (322). — с. 46–47.
5. Воронова, Н. С. Исследование химического состава и функциональных свойств белковых изолятов, полученных из подсолнечных семян и жмыха / Н. С. Воронова, А. Н. Бердина, Е. С. Кудлаева // Вестник НГИЭИ. — 2012. — № 8. — с. 37–45.
6. Безверхая, Н. С. Сравнительная характеристика двух биотипов гибридного подсолнечника с различным жирнокислотным составом запасных липидов / Н. С. Безверхая, Н. В. Ильчишина, С. Г. Ефименко, В. Г. Щебаков // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2010. — № 2–3. — с. 17–19.
7. Безверхая, Н. С. Влияние ферментативной модификации подсолнечных белковых изолятов на их аминокислотный состав и биологическую ценность / Н. С. Безверхая, А. Н. Бердина, Н. В. Ильчишина // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2010. — № 27. — с. 187–190.
8. Обогащение мучных кондитерских изделий модифицированным белковым изолятом из подсолнечного жмыха / Н. С. Воронова, Д. В. Овчаров // Молодой ученый. — 2015. № 5–1 (85). — с. 29–32.
9. Нестеренко, А. А. Инновационные технологии в производстве колбасной продукции / А. А. Нестеренко, А. М. Патиева, Н. М. Ильина. — Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. — 165 с.
10. Воронова, Н. С. Модифицированные белковые изоляты из подсолнечного жмыха / Н. С. Воронова. — Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. — 109 с.
11. Бердина, А. Н. Липопротеиновый комплекс семян подсолнечника / А. Н. Бердина, Н. С. Воронова, А. А. Нестеренко. — Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. — 105 с.
12. Воронова, Н. С. Совершенствование технологии получения белковых изолятов из подсолнечного жмыха и их использование для повышения пищевой ценности мучных кондитерских изделий: дис... канд. техн. наук: 05.18.01 / Воронова Наталья Сергеевна. — Краснодар, 2011. — 133 с.

## Влияние влажности зерновых материалов на их истечение из бункера наибольшего расхода

Богомягих Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор  
Азово-Черноморский инженерный институт (филиал) Донского государственного аграрного университета (г. Зерноград, Ростовская область)

Скудина Александра Александровна, старший преподаватель  
Донской государственной технической университет

*В статье приводятся результаты эксперимента по влиянию влажности на разные зерновые материалы. Рассмотрены экспериментальные данные подтверждающие теоретические выводы.*

**Ключевые слова:** влажность зернового материала, зерновой материал, осесимметричные бункера, диапазон влажности, сводчатые структуры

В работе проведен поисковый эксперимент по влиянию влажности различных зерновых сыпучих материалов на их истечение из бункера зерноочистительного агрегата. Диапазон влажности принят от 0 до 35%, причем в диапазоне 10–35%, влажность измерялась через каждые 1,5–

2,0%, а в оставшихся пределах измерения влажности проводились выборочно.

В результате проведенных экспериментов построены графики зависимости угла сдвига от влажности для некоторых зерновых сыпучих материалов: сои, пшеницы, ячменя, зер-

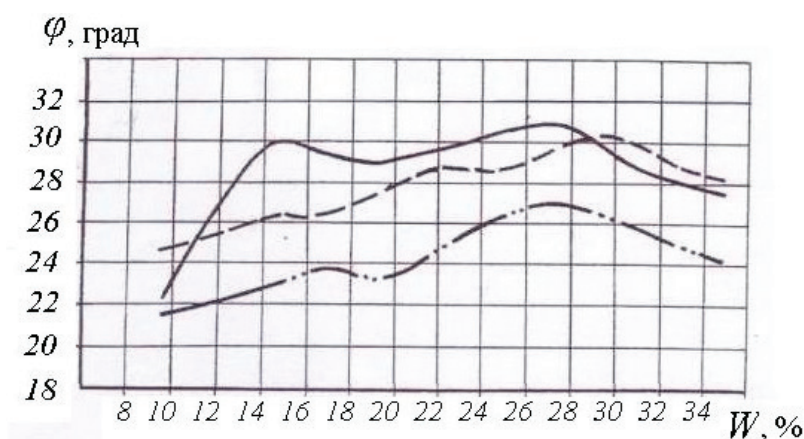


Рис. 1. Зависимость внешнего угла сопротивления сдвигу от влажности

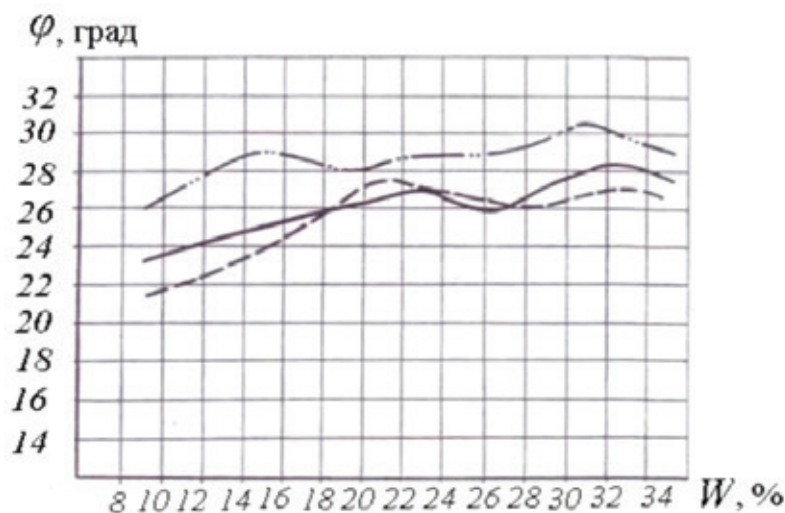


Рис. 2. Зависимость внешнего угла сопротивления сдвигу от влажности:  
— — — кукуруза; — — — сорго; — — — зерноотходы пшеничных

ноотходов пшеничных, кукурузы и сорго (рисунки 1, 2). На всех графиках выделяются три характерных участка.

Диапазоны влажности для каждого участка графиков приведены в таблице 1.

Таблица 1. Диапазоны влажности зерновых сыпучих материалов

Вид сыпучего материала	Величина влажности, W, %		
	Участок 1	Участок 2	Участок 3
1. Соя	0–14,8	14,9–27,6	27,7–80
2. Пшеница	0–14,6	14,7–29,2	29,3–80
3. Ячмень	0–17,4	17,5–28,0	28,1–80
4. Зерновые отходы пшеничные	0–14,6	14,7–30,4	30,5–80
5. Кукуруза	0–23,4	23,5–32,2	32,3–80
6. Сорго	0–21,0	21,1–33,4	33,5–80

Рассмотрим полученные кривые на примере пшеничных зерновых отходов. На первом участке в диапазоне влажности 0–14,6% зерновые отходы подчиняются закону сухого трения и график представляет собой прямую. На втором участке в диапазоне влажности 14,7–30,4% зерновые отходы подчиняются закону Амонтона-Кулона, причем в этом случае преобладают силы сцепления (адгезии). Некоторое снижение угла сдвига в начале второго участка объясняется лучшим скольжением влажных зерновых пленок по металлу. [1]

При дальнейшем намокании пленок возрастает их шероховатость из-за сморщивания, в результате угол сдвига увеличивается. На третьем участке в диапазоне влажности более 30,5% зерновые отходы также подчиняются закону Амонтона-Кулона с учетом допущений В. С. Кулакова, причем силы сцепления преобладают на уровне вязкости жидкости (воды). В этом случае сила сдвига сыпучего тела определяется по формуле:

$$F = F_0 + M \cdot N + C V, N,$$

где  $F_0$  — сила сухого трения, Н;

$M \cdot N$  — сила адгезии, Н;

$C V$  — сила сопротивления сдвигу при наличии между частицами свободной жидкости.

В результате угол сдвига снижается и кривая на графике уходит вниз, асимптотически приближаясь к нулевой горизонтали.

Из всего многообразия факторов, влияющих на производительность бункеров, путем экспертного ранжи-

рования отобраны следующие четыре фактора:  $x_1$  — отношение приведенного диаметра выгрузного отверстия к диаметру частицы сыпучего материала;  $x_2$  — угол наклона стенок днища бункера к вертикали, град;  $x_3$  — относительная влажность сыпучего материала, %;  $x_4$  — наличие (отсутствие) сводоразрушающего устройства. В качестве сыпучего материала использовались пшеничные зерновые отходы. [2,3]

Уровни варьирования факторов приведены в таблице 2

Для определения наиболее выгодной схемы работы бункера была составлена и реализована матрица (таблица 3) для двух факторов. На данном этапе исследований определялось влияние на критерий оптимизации фактора  $x_4$ . Для этого составлена таблица с двумя входами. Вторым фактором в этой таблице выбран  $x_1$ . При статистической оценке полученных результатов принят уровень значимости в 5%.

Величины эффектов:  $x_1$  и  $x_4$  подсчитывались по формуле и получились равными  $x_1 = -3,667$  и  $x_4 = -21,667$ .

Среднеквадратическая ошибка  $S_R = 2,1986$ .

Проверка по t-критерию

$$t_1 = -3,347; t_4 = -19,706.$$

Величина эффекта,  $x_4 = -21,667$  и значимость эффекта по t-критерию подтвердилась. Расчетное значение составило  $t_4 = -19,706$  против табличного —  $t_{0,05} = 2,306$ .

Таким образом, можно считать, что применение сводоразрушающего устройства существенно влияет на время

Таблица 2. Факторы, влияющие на работу бункера

Наименование фактора	Обозначение фактора	Уровни варьирования факторов		
		верхний (+1)	нулевой (0)	нижний (-1)
Отношение приведенного диаметра выгрузного отверстия к диаметру частицы сыпучего материала	$x_1$	47,88/3,9	35,91/3,9	23,94/3,9
Угол наклона стенок днища бункера к вертикали, град	$x_2$	30	45	60
Относительная влажность сыпучего материала, %	$x_3$	16,5	13,5	10,5
Наличие (отсутствие) сводоразрушающего устройства	$x_4$	да	-	нет

Таблица 3. Таблица с двумя входами для вычисления эффективности факторов  $x_1$  и  $x_4$

Оцениваемый фактор	+ $x_1$	- $x_4$
	65,0	67,0
	69,0	69,0
+ $x_4$	67,0	70,0
	$Xy_1=201,0$	$Xy_1=206,0$
	$Y_1=67,0$	$y_2=68,667$
	86,0	90,0
	85,0	94,0
- $x_4$	89,0	93,0
	$Xy_1=260,0$	$Xy_1=277,0$
	$y_3=86,667$	$y_4=92,337$

истечения сыпучего материала из бункера, причем знак «минус» при величине эффекта свидетельствует о выгодности схемы работы бункера со сводоразрушающим устройством, так как при этом время истечения сыпучего

материала уменьшается. Это объясняется тем, что при разгрузке бункера без разрушающего устройства образуются динамические своды, затрудняющие истечение сыпучего материала.

Литература:

1. Богомягих, В. А. Интенсификация разгрузки бункерных устройств в условиях сводообразования зернистых материалов / В. А. Богомягих, А. П. Пепчук. — зерноград: ВНИИПТИМЭСХ, 1995. — 162 с.
2. Гячев, Л. В. Основы теории бункеров / Л. В. Гячев. — Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета, 1992. — 310 с.
3. Богомягих, В. А. Обоснование параметров и режимов работы сводоразрушающих устройств бункерных дозирующих систем сельскохозяйственных машин и установок / В. А. Богомягих, В. П. Трембич, А. И. Пахайло. — зерноград: ВНИИПТИМЭСХ, 1997. — 124 с.

### Влияние некоторых сводообразующих факторов на время истечения зерновых из бункера наибольшего расхода

Богомягих Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор  
Азово-Черноморский инженерный институт (филиал) Донского государственного аграрного университета (г. зерноград, Ростовская область)

Скудина Александра Александровна, старший преподаватель  
Донской государственный технический университет

*В статье приводится влияние сводообразующих факторов на время истечения зерновых материалов из осесимметричных бункеров наибольшего расхода. Рассмотрены экспериментальные данные подтверждающие теоретические выводы.*

**Ключевые слова:** жидкостная пленка, зерновой материал, осесимметричные бункера, влажность зернового материала, сводчатые структуры.

Для того, чтобы определить влияние некоторых сводообразующих факторов на истечение зерновых материалов из бункеров, использовался экспериментальный бункер со сводоразрушающим устройством. В качестве сыпучего материала применялись ячмень и пшеница. [1, 2]

На ячмене проверялось влияние фактора коэффициента сопротивления сдвигу  $K_{сд}$ . Для этого опыты проводились на трех уровнях  $K_{сд}$ : 1,15; 1,60, 2,05.

На пшеничных материалах проверялось влияние фактора величины выпускного отверстия. При помощи заклонки устанавливали три уровня его открытия, при этом



$D_b/d_v$  равнялось 13,3; 19,95; 26,6. Фракционный весовой состав зерновых материалов, использованных при проведении эксперимента, был следующим: целое зерно — 74,7%, дробленое зерно — 22%, колоски, соломистые фрагменты, семена сорняков и т.д. — 3,3% (рисунки 1 и 2).

Из графика следует, что с увеличением угла наклона стенки бункера к вертикали время истечения зерновых увеличивается по гиперболе для всех исследуемых в работе зерновых. Кроме того, время истечения зерновых от увеличения отношения  $D_b/d_v$  понижается также по гиперболе.

При отношении  $D_b/d_v < 10$  время истечения стремится к бесконечности. То есть, при таком соотношении

Дв к  $d_v$  имеется большая вероятность образования над выпускным отверстием бункера статически устойчивого свода с осевой податливостью равной нулю.

Из графика следует, что изменение времени истечения овса с изменением угла  $\alpha$  происходит по параболе с вершиной при  $\alpha=30^\circ$ . Объясняется это тем, что при  $\alpha=30^\circ$  происходит переход гидравлического вида истечения овса в нормальный, как со сводоразрушающим устройством, так и без него. Известно, что при нормальном виде истечения сыпучего тела вероятность образования сводов, в частности, статически устойчивых сводов, больше, чем при гидравлическом виде истечения, так как  $\varphi_{пр} > \varphi$ .

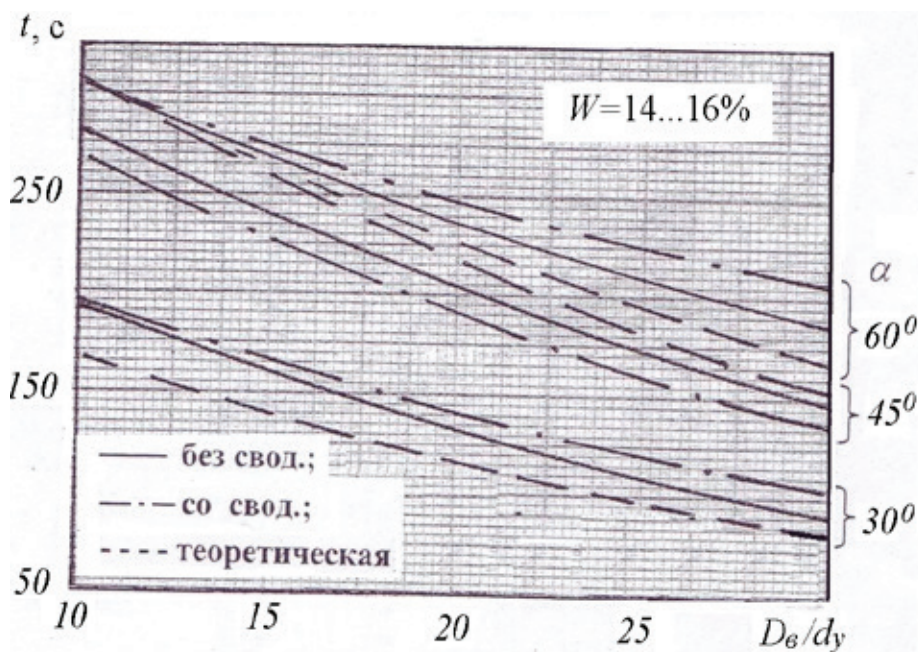


Рис. 1. График функции  $t=f(D_b/d_v)$

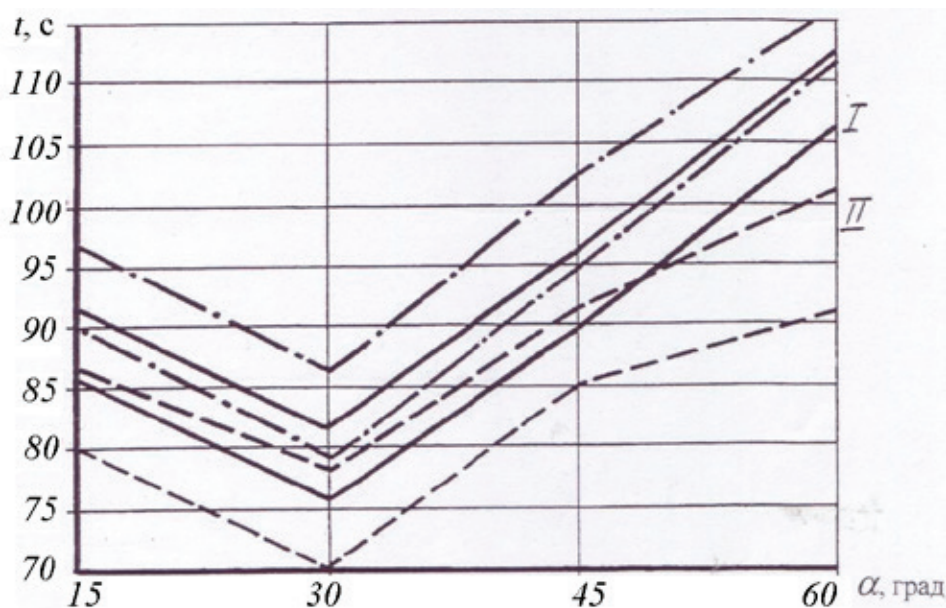


Рис. 2. Зависимость времени истечения овса из бункера от угла наклона стенок дна бункера к вертикали

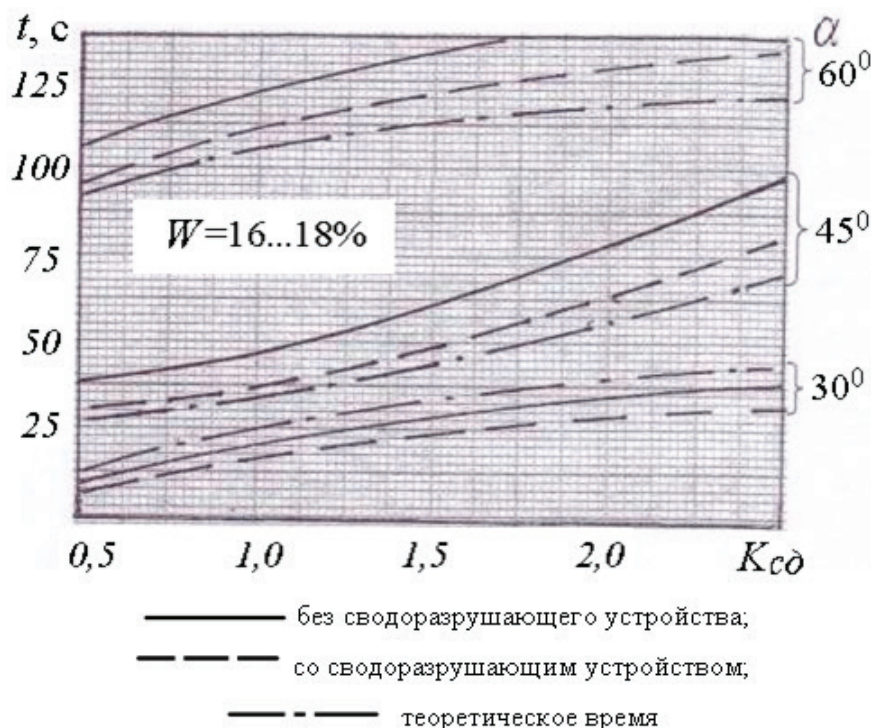


Рис. 3. График функции  $t=f(K_{сд})$

Из графика 3 следует, что с повышением  $K_{сд}$  время истечения зерновых отходов увеличивается как при сводоразрушающем устройстве, так и без него. Однако, со сводоразрушающим устройством оно в среднем на 15... 17% меньше. Но это не главное. Главное заключается в том, что со сводоразрушающим устройством истечение зерновых стабильное, без образования статически устойчивых сводов.

Влияние угла наклона стенок днища бункера к вертикали проверялось на овсе, причем указанные углы устанавливались специальными вставками в бункер:  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ .

Для оценки влияния фактора засоренности использовался засоренный овес и овес, очищенный от фрагментов стеблей, семян сорняков, шелухи и других примесей.

Кроме того, влияние каждого фактора оценивалось при наличии сводоразрушающего устройства, установленного в бункере, и без сводоразрушающего устройства. [3]

При проведении экспериментов определялось время истечения сыпучего материала из бункера на каждом уровне исследуемого фактора. Причем, определение влияния факторов  $K_{сд}$  и величины выпускного отверстия производилось при варьировании углов наклона стенок днища бункера к вертикали.

По результатам проведенных экспериментов построены графики зависимости времени истечения сыпучего

материала из бункера от каждого из вышеуказанных факторов, а также соответствующие теоретические кривые времени истечения, рассчитанные по формуле, определяющей расход зерновых отходов.

В результате исследований установлено, что величина выгрузного отверстия бункера оказывает значительное влияние на время истечения сыпучего материала из бункера: чем больше диаметр отверстия, тем меньше время истечения.

Влияние угла наклона стенок днища бункера к вертикали сказывается неоднозначно. С уменьшением угла наклона время истечения уменьшается, достигая минимального значения при  $\alpha=30^\circ$ . При дальнейшем уменьшении угла наклона время истечения начинает возрастать. Это объясняется тем, что при малых углах наклона стенок днища бункера к вертикали конфигурация днища бункера приближается к щелевой трубе, диаметр днища уменьшается, что способствует образованию динамических сводов в полости бункера. Полученная закономерность наблюдается при различных диаметрах выгрузного отверстия бункера.

С повышением  $K_{сд}$  время его истечения из бункера возрастает, при чем, при изменении угла наклона стенок днища бункера к вертикали, наименьшее время истечения сыпучего материала происходит при углах наклона  $\alpha=30^\circ$ .

Литература:

1. Богомягих, В.А. Интенсификация разгрузки бункерных устройств в условиях сводообразования зернистых материалов / В. А. Богомягих, А. П. Пепчук. — Зерноград: ВНИИПТИМЭСХ, 1995. — 162 с.

2. Гячев, Л. В. Основы теории бункеров / Л. В. Гячев. — Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета, 1992. — 310 с.
3. Богомягих, В. А. Обоснование параметров и режимов работы сводораз-рушающих устройств бункерных дозирующих систем сельскохозяйственных машин и установок / В. А. Богомягих, В. П. Трембич, А. И. Пахайло. — зерноград: ВНИИПТИМЭСХ, 1997. — 124 с.

## Влияние угла укладки зерновок на величину наибольшего сводообразующего размера выпускного отверстия бункера

Богомягих Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор

Азово-Черноморский инженерный институт (филиал) Донского государственного аграрного университета (г. Зерноград, Ростовская область)

Скудина Александра Александровна, старший преподаватель

Донской государственный технический университет

В статье приводятся зависимости влияния угла укладки зерновых материалов в осесимметричных бункерах наибольшего расхода на расход бункера. Рассмотрены экспериментальные данные подтверждающие теоретические выводы.

**Ключевые слова:** частота пульсаций, зерновой материал, осесимметричные бункера, влажность зернового материала, сводчатые структуры, угол укладки.

Угол укладки ( $\beta$ ) зерновок в таком бункере зависит от способа их засыпки в бункер. При засыпке способом «дождя» он изменяется, в среднем, от 0 до 30°; при засыпке способом «струи по центру бункера» — от 30° до 45°; при засыпке способом «струи по периферии бункера» — от 45° до 60°. Наибольшая насыпная плотность зерновых материалов при этом наблюдается при первом способе засыпки, а наименьшая — при третьем способе засыпки (рисунок 1).

Из рисунка 1 следует, что наибольшие сводообразующие размеры выпускных отверстий бункеров в зависимости от увеличения угла  $\beta$  уменьшаются по гиперболе.

Обусловлено это тем, что с увеличением угла укладки зерновок в граничных условиях (в бункере зерновое тело становится более рыхлым) осевая податливость образующихся сводов увеличивается. То есть, последние разрушаются от небольших внешних нагрузок.

С уменьшением  $D_{н.св}$  увеличивается расход зерновых материалов из бункера и, следовательно, увеличивается частота их выхода из последнего. Покажем это.

Как показывает опыт эксплуатации бункеров для зерновых, их расходные характеристики (расход, скорость и частота истечения из них зерновых) во многом зависят от

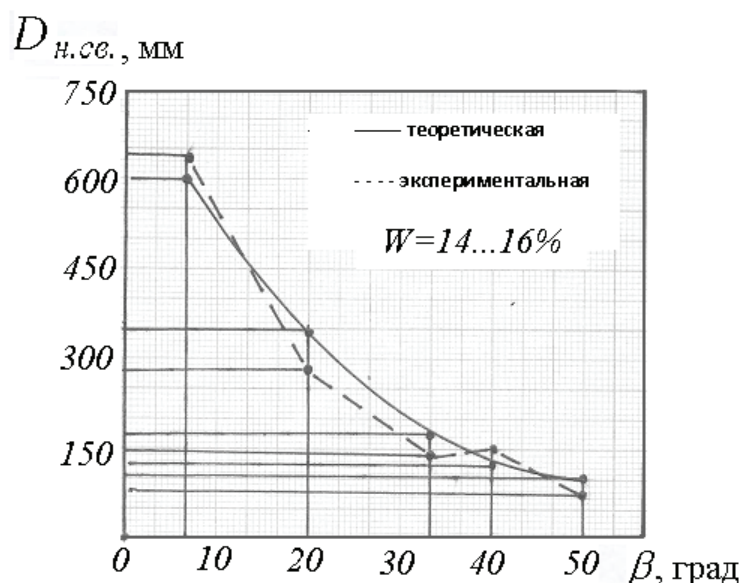


Рис. 1. График функции  $D_{н.св} = f(\beta)$  при всех остальных постоянных параметрах



величины стрелы статически устойчивых сводов и их пролетов ( $D_{н.св.}$ ). С уменьшением стрелы статически устойчивого свода ( $f_{стр}$ ) частота выхода доз зерновых из бункеров увеличивается и  $D_{н.св.}$  уменьшается. [1, 3]

Действительно, анализируя график функции  $n=f(f_{стр})$  (рис. 2), приходим к выводу о том, что чем больше  $l_0$ , тем больше частота  $n$  пульсации выходящего зернового потока. Отсюда следует, что зерновые могут выходить из выпускного отверстия  $R_b$ , приближающегося по своим размерам к  $R_{н.св.}$  (рисунок 3).

Другими словами, для более связных зерновых сыпучих материалов квазичастота выхода доз зерновок должна повышаться, то есть, частота колебаний активного элемента сводоразрушающего устройства должна повышаться (например, частота колебаний сводоразрушающего устройства зернокомбайна «Дон-1500» равна 39 Гц).

На рисунке 4 показан график функции  $q_{пр} = f(R_b)$  при  $R_{н.св.} = 0,1$  м.

Из графика следует, что предельный расход зерновых в зависимости от  $R_b$  изменяется по параболе. При этом, вершина параболы находится в точке  $R_b = R_{н.св.}$ . В этой точке  $q_{пр} = 0$ , так как осевая податливость статически устойчивого свода ( $\lambda_0$ ) в сечении бункера, в котором  $R_b = R_{н.св.}$ , равна нулю. Для его разрушения требуется максимальная частота колебаний активного элемента сводоразрушающего устройства. [2]

С увеличением размера сводообразующего отверстия бункера при постоянном рабочем размере выпускного его отверстия предельный расход зерновых из бункера уменьшается также по параболе с максимальным предельным расходом при  $R_{н.св.} = 0$  (в производственных условиях это нереально) (рисунок 5)

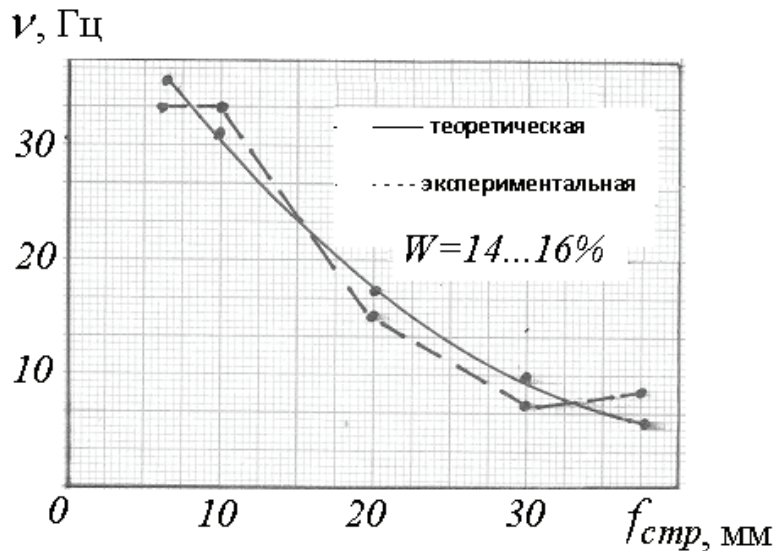


Рис. 2. График функции  $D_{н.св.} = f(\nu)$  при  $\lambda_0 \approx 1,0$

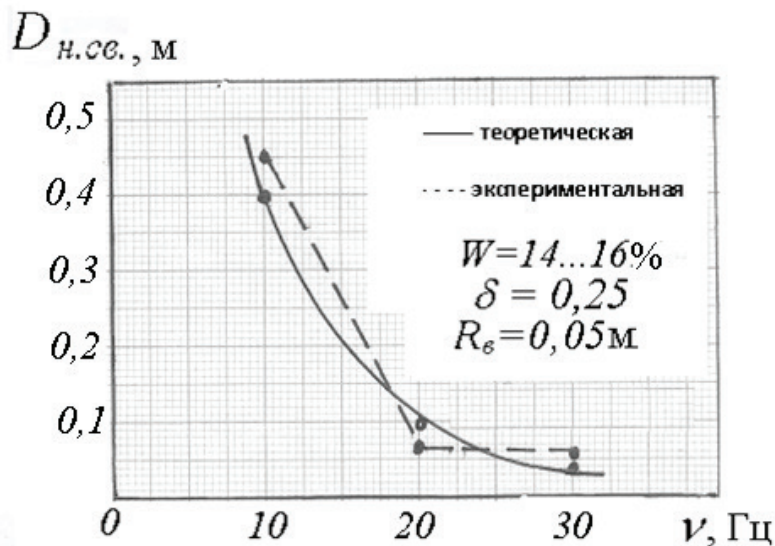


Рис. 3. График функции  $D_{н.св.} = f(n)$  при  $l_0 \approx 1,0$

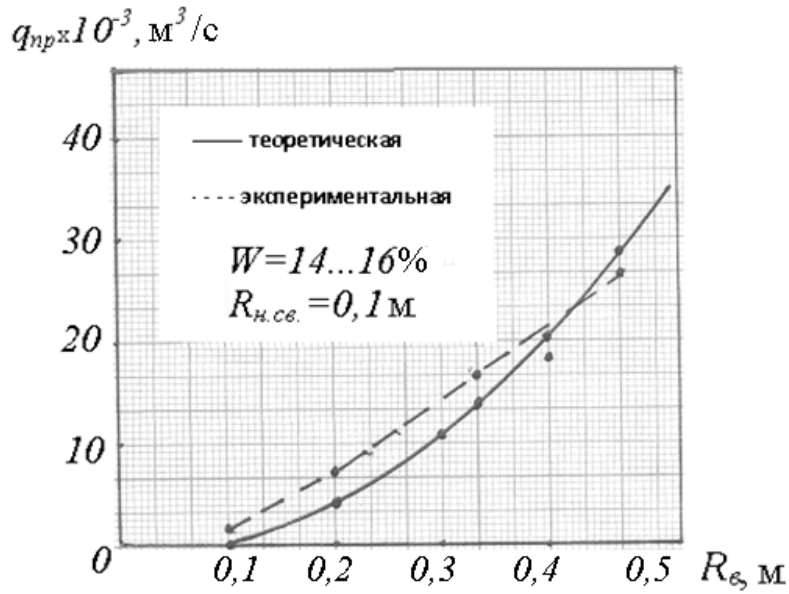


Рис. 4. График функции  $q_{пр}=f(R_{в})$

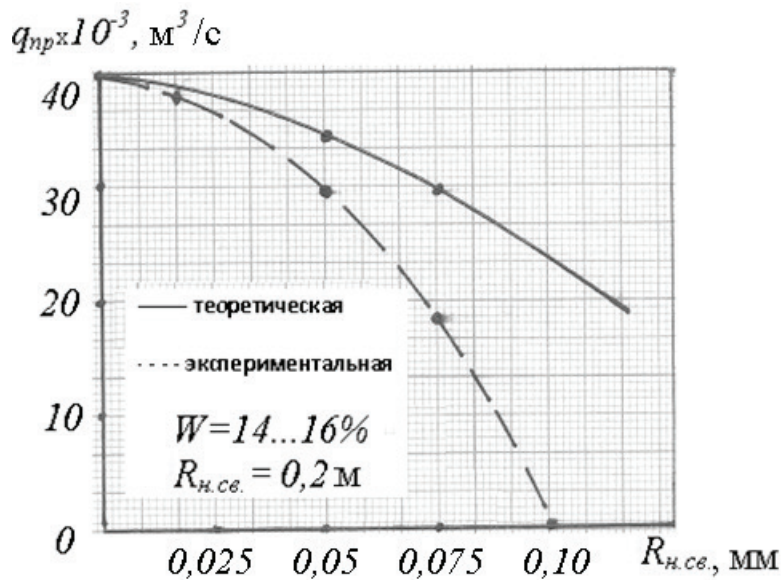


Рис. 5. График функции  $q_{пр}=f(R_{н.св.})$  при  $l_0 \approx 1,0$  (зерно пшеницы)

Понижение  $q_{пр}$  с увеличением  $R_{н.св.}$  при постоянном значении  $R_{в}$  объясняется тем, что уменьшается разница  $\Delta=R_{в} - R_{н.св.}$ , что приводит к стесненному движению зер-

новок в бункере. При  $\Delta=0$  истечение зерновок прекращается, что свидетельствует об образовании над выпускным отверстием бункера свода с осевой податливостью  $\lambda_0=0$ .

Литература:

1. Богомягих, В. А. К расчету бункеров для зерна// Механизация и электрификация сельского хозяйства — 1968. — № 8. — 320 с.
2. Богомягих, В. А., Приленский В. И. Условия истечения сыпучего материалов из бункеров// Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства — Ростов-на-Дону, РГУ, 1969. — Вып. 12. — 286с.
3. Богомягих, В. А., Лянник А. А. Угол укладки частиц сыпучего материала// Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства — 1970. — № 8. — 165с.



## О частоте пульсации сыпучего тела, выходящего из выпускного отверстия бункера наибольшего расхода

Богомягких Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор  
Азово-Черноморский инженерный институт (филиал) Донского государственного аграрного университета (г. Зерноград, Ростовская область)

Скудина Александра Александровна, старший преподаватель  
Донской государственной технической университет

*В статье приводятся особенности истечения сыпучих зерновых материалов из осесимметричных бункеров максимального расхода, а так же частоты пульсаций их этих бункеров.*

**Ключевые слова:** истечение сыпучих зерновых материалов, осесимметричные бункера максимального расхода, частота пульсаций сыпучего тела, частота образования сводов, площадь выпускного отверстия.

Исходя из принятой модели зернового материала и на основании проведенных аналитических исследований и производственного опыта, процесс истечения дискретных сыпучих тел из бункеров повышенной пропускной способности можно описать следующим образом.

В момент открытия заслонки выпускного отверстия бункера движение зернового потока в нем некоторое (небольшое) время будет неустановившимся (до момента разрушения наиболее удаленного от выпускного отверстия динамического свода, образовавшегося при загрузке бункера зерновым материалом). [1]

Процесс разрушения динамических (неустойчивых) сводов стохастичен и описывается дифференциальными линейно-разностными уравнениями состояния (марковскими стационарными процессами).

$$P_0(t) = (1 - \exp(-\mu \cdot t))^n, \tag{1}$$

где  $\mu$  — частота разрушения динамических сводов (количество разрушившихся сводов за единицу времени), зависящая от физико-механических свойств сыпучих материалов и конструктивных параметров бункера;  
 $n$  — общее количество сводов.

При этом, время неустановившегося режима истечения зерновых материалов из бункера может быть определено

$$t = \left(\frac{1}{\mu}\right) \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \sqrt[n]{a^*}}\right), \tag{2}$$

где  $a^*$  — заданная вероятность, число, достаточно близкое к единице.

При установившемся режиме истечения зерновых материалов происходит непрерывный процесс образования и разрушения динамических сводов по всей высоте движущегося потока. Динамические своды в этом случае образуются через произвольные интервалы времени и имеют различные периоды существования. Вероятности состояния этого процесса описываются законом распределения Пуассона

$$P_n(t) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \cdot \frac{(1 - \exp(-\mu \cdot t))^n}{n!} \cdot \exp\left\{-\left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \cdot (1 - \exp(-\mu \cdot t))\right\}, \tag{3}$$

где  $\lambda$  — частота образования сводов, зависящая от физико-механических свойств сыпучих материалов и конструктивных параметров бункера.

Непрерывность и устойчивость истечения наблюдается, если  $\lambda = \mu$ . Накопление неразрушившихся динамических сводов, приводящих к полному прекращению истечения зерновых материалов из бункеров, наблюдается, если  $\lambda > \mu$ . При этом, функциональная зависимость расхода сыпучего из бункера имеет вид

$$q = \rho \cdot S \cdot (S \cdot g^2)^{1/4} \cdot f\left(\frac{D}{d} \cdot \alpha\right), \tag{4}$$

где  $q$  — расходная характеристика бункера;

$\rho$  — насыпная плотность сыпучего материала;

$S$  — площадь выпускного отверстия бункера;

$g$  — ускорение силы тяжести;

$D/d_y$  — отношение диаметра выпускного отверстия бункера к условному диаметру частицы зернового материала;

$\alpha$  — угол наклона стенок днища бункера к вертикали.

Из вышеуказанного следует, что процесс истечения зерновых материалов из бункеров есть естественный процесс быстрого во времени образования и разрушения динамических сводов по всей высоте движущегося дискретного потока.

Этот процесс стохастичен и подчиняется марковским процессам.

При определенных условиях (когда  $R_b \leq R_{н.св.}$ ) динамические своды переходят в статически устойчивые. Это происходит тогда, когда веревочный многоугольник сил, действующий на этот свод, замыкается. То есть, в этом случае

равнодействующая всех сил, действующая на этот свод, равна нулю. Если она не равна нулю, то статически устойчивый свод становится неустойчивым (динамическим) и он разрушается.

Периодическое стохастическое образование и разрушение этих сводов по всей высоте движущегося потока в бункере обуславливает в нем периодическое стохастическое разрыхление и уплотнение зернового сыпучего материала и, следовательно, обуславливает пульсирующий его выход из выпускного отверстия бункера. Кадры скоростной съемки это подтверждают (рисунок 1).

На кадрах скоростной съемки отчетливо видно периодическое стохастическое уплотнение и разрыхление движущегося потока зерна. Также наблюдается визуально образование и разрушение динамических сводов (кадры: 1, 2, 3, 7, 8, 9, 13, 14, 15). Процесс образования и разрушения динамических сводов наблюдается в течение всего времени опорожнения бункера.

Из сказанного следует, что процесс сводообразования сыпучих материалов, находящихся в граничных условиях, есть естественное явление, присущее потокам зернистых тел. Это естественное явление образования и разрушения сводчатых структур обусловлено расположением дискретных частиц по линиям равного сопротивления их движению в потоке сыпучего, которые называются изолиниями. Процесс это стохастический как по времени образования и разрушения сводчатых структур, так и по месту их образования и разрушения в объеме граничных условий (например, в объеме бункера).

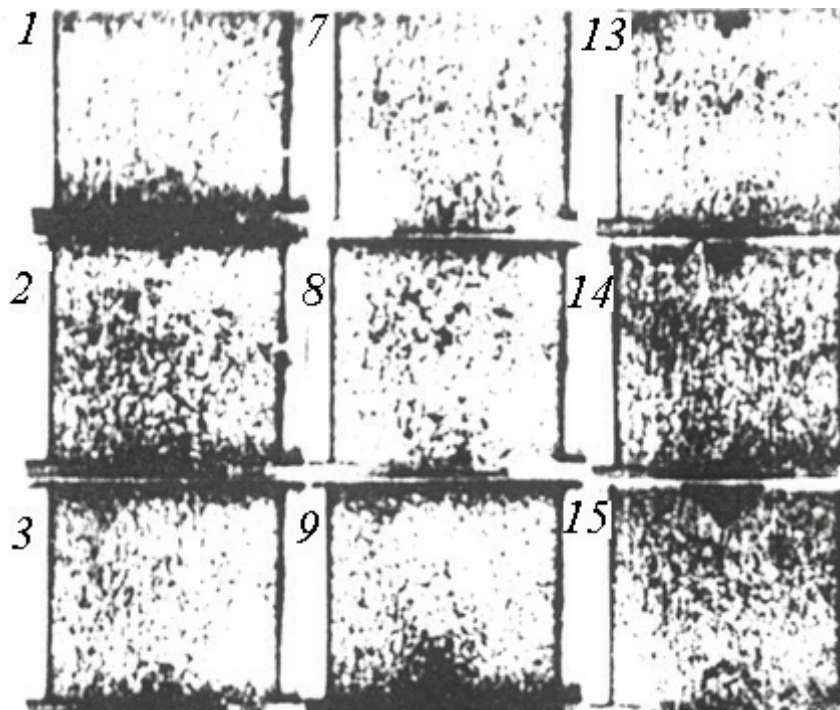


Рис. 1. Кадры скоростной съемки истечения зерна пшеницы из бункера

Этот процесс наблюдается при любом виде истечения дискретных сыпучих тел из выпускных отверстий бункеров.

Этот процесс одновременно дискретен и непрерывен. Его дискретность проявляется в пульсирующем характере истечения сыпучего, а его непрерывность — в ламинарности (равномерности) движения потока в бункере с момента его формирования и до момента его полного выхода из бункера.

Линейная частота пульсации сыпучего при его установившемся режиме истечения из бункера наибольшей пропускной способности может быть определена по схеме истечения сыпучего, предложенной В.А. Богомягких в работе [3]. По этой схеме для бункеров с прямыми образующими их стен период пульса  $T_n$  истечения дозы сыпучего из выпускного отверстия бункера определяется по формуле

$$T_n = \frac{[\lambda_0 \cdot V_d + (1 - \lambda_0) \cdot V_e]}{\lambda_0 \cdot q_{np}} \quad (5)$$

где  $\lambda_0$  — осевая податливость эквивалентного (среднестатистического) динамического свода;

$q_{np}$  — предельный расход сыпучего;

$V_d$  — суммарный объем частиц, из которых сформировался эквивалентный динамический свод;

$V_e$  — объем частиц в подсводном пространстве эквивалентного динамического свода.

$$\lambda_0 = \frac{tg\alpha'_0 - tg\chi}{tg\alpha'}$$

В бункерах повышенной пропускной способности, образующие стен которых выполнены в соответствии с зависимостями, образуются, как указывает в своей работе Л. В. Гячев [2], «скользящие» динамические своды, у которых  $\lambda_0 \cong 1$ .

Таким образом, для указанных бункеров зависимость (2.36) принимает вид

$$T_{n_2} = \frac{V_{d_y}}{q_{np}}, \text{ с; } \mu_2 = \frac{q_{np}}{V_{d_y}}, \text{ Гц.} \tag{6}$$

В результате приходим к схеме истечения слоя частиц, находящихся непосредственно над плоскостью выпускного отверстия бункера и, следовательно, частота  $\mu_2$  выхода этого слоя частиц из выпускного отверстия бункера наибольшей пропускной способности определится из выражения

$$\mu_2 = \frac{q_{np}}{V_{d_y}}, \text{ Гц.} \tag{7}$$

Тогда, соответственно, для усеченного конического и щелевого бункеров:

$$\mu_{y.k} = \frac{\left(\frac{g}{2 \cdot tg\alpha'_0}\right)^{0.5} (R_e^{2.5} - R_{н.св}^{2.5}) \frac{\rho}{\eta}}{R_e^2 \cdot d_y}, \tag{8}$$

$$-\mu_{щ} = \frac{\left(\frac{g}{tg\alpha'_0}\right)^{0.5} (R_e^{1.5} - R_{н.св}^{1.5}) \frac{\rho}{\eta}}{R_e \cdot d_y}. \tag{9}$$

Из анализа этих зависимостей следует, что с увеличением значений  $R_{н.св.}$ ,  $\rho$  и  $d_y$  при всех остальных постоянных аргументах значение частоты пульсации  $\mu$  понижается, а с увеличением  $R_e$  и  $\eta$  также при всех остальных постоянных аргументах значение  $\mu$  повышается.

Известно, что в бункерах с прямой образующей их стен среднестатистическая осевая податливость динамических сводов не превышает 0,75, а  $V_{d_y} \approx V_e$ . То есть, среднестатистический пульс  $T_{п}$  истечения дозы сыпучего у них, как

следует из формулы (2.36) —  $V_{d_y} / 0,75 \cdot q_{np} \left( \mu_1 = \frac{0,75 q_{np}}{V_{d_y}} \right)$

Отношение  $\mu_2$  к  $\mu_1$  дает численное значение  $\sim 1,3$ . То есть, равномерность выхода доз сыпучего из выпускного отверстия бункера наибольшей пропускной способности, примерно, в 1,3 раза выше, чем у бункера, образующие стен которых — прямые линии.

Это лишний раз подтверждает гипотезу о необходимости использования таких бункеров в сельскохозяйственном производстве и, особенно, в качестве не только транспортирующих емкостей, но и в качестве бункеров-дозаторов.

Литература:

1. Богомягих, В.А. Интенсификация разгрузки бункерных устройств в условиях сводообразования зернистых материалов / В.А. Богомягих, А.П. Пепчук. — зерноград: ВНИИПТИМЭСХ, 1995. — 162 с.
2. Гячев, Л.В. Основы теории бункеров / Л.В. Гячев. — Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета, 1992. — 310 с.
3. Богомягих, В.А. Обоснование параметров и режимов работы сводораз-рушающих устройств бункерных дозирующих систем сельскохозяйственных машин и установок / В.А. Богомягих, В.П. Трембич, А.И. Пахайло. — зерноград: ВНИИПТИМЭСХ, 1997. — 124 с.

## Методика определения коэффициента, характеризующего свойства жидкостной пленки

Богомягих Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор

Азово-Черноморский инженерный институт (филиал) Донского государственного аграрного университета (г. Зерноград, Ростовская область)

Скудина Александра Александровна, старший преподаватель

Донской государственной технической университет

*В статье приводится методика определения коэффициента, характеризующего образование жидкостной пленки. Рассмотрены экспериментальные данные подтверждающие теоретические выводы.*

**Ключевые слова:** жидкостная пленка, зерновой материал, осесимметричные бункера, влажность зернового материала, сводчатые структуры.

В сухом зерновом материале количество влаги ничтожно мало и он не оказывает существенного влияния на трение. Силы трения зёрен между собой и стенками бункера носят характер сухих.

Опытным путем было установлено, что максимальная сила трения покоя не зависит от площади соприкосновения тел и приблизительно пропорциональна модулю силы нормального давления, прижимающей трущиеся поверхности друг к другу, а сама сила сухого трения определяется по закону Кулона. Однако при повышенной влажности между зёрнами образуется жидкостная прослойка, что полностью меняет характер трения зёрен между собой и стенками бункера — силы трения начинают носить характер жидкостных.

При движении зернового материала влажность свыше 30% в бункере сила трения между частицами сыпучего материала найдена в работе [1]:

$$F = c_1 \cdot v,$$

где  $c_1$  - коэффициент, характеризующий свойства жидкостной пленки между зёрнами;  $v$  - относительная скорость движения частиц сыпучего материала.

Сила трения частиц, которые при движении касаются стенки бункера, равна:

$$F = c_0 \cdot v,$$

где  $c_0$  - коэффициент, характеризующий свойства жидкостной пленки между зерном и стенкой бункера;  $v$  — скорость движения частицы по стенке бункера.

По формулам определить величины  $c_1$  и  $c_0$  достаточно сложно. Поэтому была разработана экспериментальная методика для определения их значения, смысл которой заключается в следующем: на плоскости при помощи пластины закреплены зёрна влажностью 30%, с ними контактируют зёрна, закреплённые на пластине тоже обладающие влажностью 30%. К пластине привязана нить, которая проходит через блок и к концу которой привязан груз. При помощи груза пластина приводится в движение. Изменяя массу груза необходимо добиться равномерного движения пластины. [3]

Исходя из первого закона Ньютона, можно записать

$$m_1 \cdot g - c_{1\text{ сум}} \cdot V = a \cdot (m_1 + m_2) \quad (1)$$

где  $c_{1\text{ сум}}$  — суммарное значение коэффициента, характеризующего свойства жидкостной плёнки между зер-

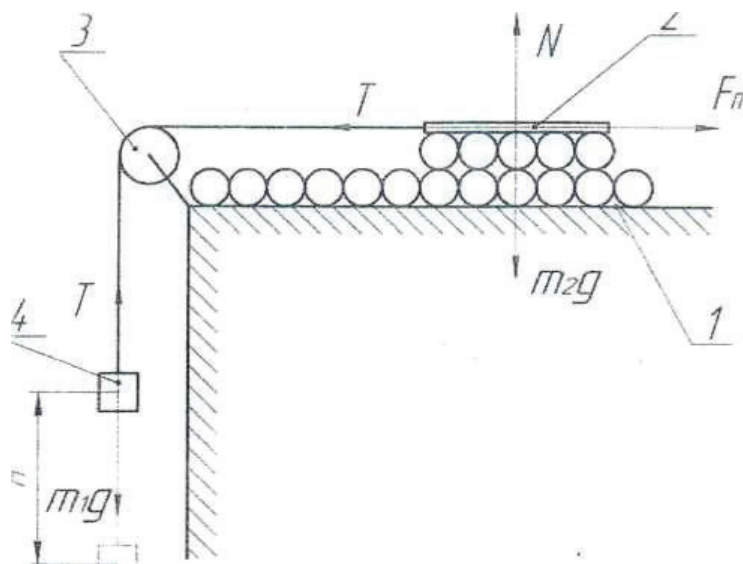


Рис. 1. Схема определения коэффициента, характеризующего свойства жидкостной пленки между зёрнами

нами, закреплёнными на пластине и зёрнами. находящимися на плоскости.

Поскольку движение пластины является равномерным, то из выражения (1) значение  $C_{I_{сум}}$  будет:

$$c_{I_{сум}} = \frac{m_1 \cdot g}{v} \quad (2)$$

Разделив значение  $C_{I_{сум}}$ , полученное по формуле (2), на количество зерен, находящихся на пластине можно определить значение  $C_I$  — коэффициента, характеризующего свойства жидкостной пленки между зёрнами в расчете на одну зерновку. Для определения  $C_0$  необходимо убрать зёрна с площадки и провести опыт. Расчёты производятся аналогично, как и при определении  $C_I$ .

Используя гипотезу Ахматова [1] о равномерном уменьшении коэффициентов, характеризующих свойства жидкостной плёнки с понижением влажности, и о том, что при кондиционной влажности  $c_I$  и  $c_0$  равны нулю, можно определить их значения для сельскохозяйственных культур различной влажности.

Для определения частоты пульсаций потока при истечении сыпучего тела использовался щелевой бункер из листовой стали с размером  $H_0=720$  мм,  $R_0=300$  мм,  $R_b=50$  мм и 100мм.

Опыт проводился следующим образом. Заполненный сыпучим материалом бункер подвешивался к оттарированному тензозвену, соединённому с осциллографом Н-700 через усилитель. Далее открывался затвор выпускного бункера и проводилась запись расхода сыпучего материала. По полученным на ленте осциллографа кривым потока истечения сыпучего материала определяли средний период и частоту пульсаций истечения.

Кроме того, проводился хронометраж в течение смены за образованием в бункере сводов.

Обработка экспериментальных данных проводилась по общепринятой методике [2]. При обработке экспериментальных данных применялись известные методы математической статистики и дисперсионного анализа. Размеры опытных бункеров были близки к производственным, а исследуемый сыпучий материал является немодельным, поэтому все параметры, полученные экспериментальным путем, не требовали пересчета по формулам геометрического и динамического подобия.

Определялись:

$$M = \frac{\sum x_i}{n_i}, \sigma = \left( \frac{\sum \Delta x_i^2}{n_i - 1} \right)^{0.5};$$

Литература:

1. Богомягих, В. А., Приленский В. И. Условия истечения сыпучего материалов из бункеров// Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства — Ростов-на-Дону, РГУ, 1969. — Вып. 12. — с.147–152.
2. Веденяпин, Г.П. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных — М., 1967. — 159 с.

$$v = \frac{\sigma}{M}; m = \frac{v}{\sqrt{n_i}}; P = \frac{m}{M}; \quad (3)$$

Кроме того, проводился многофакторный эксперимент с использованием плана Бокса-Бенкина.

Все экспериментальные исследования всегда сопровождаются ошибками (неточностями) по разным причинам. Ввиду этого, какое бы число наблюдений не было бы сделано, полученные материалы надо считать случайной выборкой, которая подвержена статической флуктуации, так как, если произвести новые наблюдения, то получаются новые значения.

Следовательно, даже в простейших случаях вытекает необходимость использовать понятие вероятности, которая дает основание случайную выборку признать недействительной, то есть, результаты наблюдений имеют ценность только в том случае, если известна степень точности.

Поэтому обработку и анализ полученного материала осуществляли с применением положений и методов математической статистики.

Для оценки степени согласованности результатов проведенных экспериментальных исследований с теоретическими расчетами использовали распределение Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(M_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$$

где  $\chi^2$  — критерий Пирсона;  $M_i$  — число опытных значений выборки для которого справедливо  $\sum_{i=1}^k M_i = n$  и

$\sum_{i=1}^k p_i = 1$ ;  $k$  — количество классов.

Количество классов  $k$  выбирали так, чтобы выполнялись неравенства для граничных классов  $n \cdot p_i \geq 5$ .

Полученное значение сравнивали с критическим  $\chi_{табл}^2$  для заданного уровня значимости и числа «степеней свободы»  $m = k - 1$ . Если  $\chi^2 < \chi_{табл}^2$  то теоретическое значение согласуется с экспериментальным при данном уровне значимости.

Кроме однофакторных экспериментов проводился многофакторный с целью определения критериального уровня, оптимизирующего основные параметры процесса совместной работы бункера и сводоразрушающего устройства. При этом использовались безразмерные комплексы с привлечением  $\pi$ -теоремы.



3. Богомягих, В.А. Интенсификация разгрузки бункерных устройств в условиях сводообразования зернистых материалов / В.А. Богомягих, А.П. Пепчук. — Зерноград: ВНИИПТИМЭСХ, 1995. — 162 с.

## Исследование белков семян льна как полноценных и необходимых для здоровья человека

Воронова Наталья Сергеевна, кандидат технических наук, доцент;

Бередина Лидия Сергеевна, студент

Кубанский государственный аграрный университет

Значение белков в жизни человека очень большое. Они участвуют не только в пищеварении, но и входят в состав ферментов, которые являются биологическими катализаторами. Белки служат материалом для построения клеток тканей и органов, для синтеза пептидных гормонов, гемоглобина и отвечают за основные обменные и регуляторные функции в организме человека.

Белки — высокомолекулярные органические вещества, состоящие из альфа-аминокислот, соединенных в цепочку пептидной связью.

Различают два вида белков, а именно полноценных и неполноценных. Полноценные белки включают в себя все незаменимые аминокислоты, которые самостоятельно в организме не синтезируются. В неполноценных белках те или иные незаменимые аминокислоты содержатся в незначительных количествах либо же полностью отсутствуют.

Незаменимыми для взрослого здорового человека являются 8 аминокислот: валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин. Для детей

незаменимыми также являются аргинин и гистидин [1, с. 943].

Содержание белков — жизненно важное требование, предъявляемое к пищевым продуктам. В семени льна содержатся незаменимые аминокислоты, которые не синтезируются в организме и являются очень важными для здоровья человека [2, с. 44].

Для определения качественного и количественного состава аминокислот белкового комплекса семян льна были взяты семена льна масличного, из за их территориальной особенности. [3, с. 26].

Культура льна масличного менее требовательна к влаге в почве, и ей требуется более теплый климат. Именно такой климат и такое содержание влаги в почве в степях Кубани, Северного Кавказа. Лен масличный используют для пищевых целей в масложировой промышленности, так как в нем находится большее количество масла, чем в других культурах льна.

Содержание аминокислот в суммарном белке семян льна представлено в таблице 1.

Таблица 1. Содержание аминокислот в суммарном белке семян льна

Аминокислота	Семена льна
	г/ 100 г белка
<b>Незаменимые аминокислоты</b>	
Треонин	3,6
Валин	5,2
Метионин + Цистин	2,3
Изолейцин	4,7
Фенилаланин + Тирозин	8,5
Лизин	5,8
Лейцин	7,7
∑ незаменимых аминокислот	37,8
<b>Заменимые аминокислоты</b>	
Цистин	0,8
Гистидин	2,3
Аргинин	10,8
Глицин	6,2
Аланин	5,2
Тирозин	2,5
Аспаргиновая кислота	11,2

Серин	2,8
Глутаминовая кислота	21,8
Пролин	4,2
Оксипролин	1,3
∑ заменимых аминокислот	69,0
∑ аминокислот, г	106,8

Результаты показывают, что семена льна содержат полный набор наиболее часто встречающихся аминокислот и характеризуется высоким содержанием незаменимых аминокислот, таких как валин, изолейцин, фенилаланин, лизин, лейцин, и низкое содержание метионина и треонина [4, с. 46].

Так как молоко отличается богатым количеством незаменимых аминокислот, на основании этого была проведена сравнительная характеристика идеального белка, белков молока и белков семян льна.

Биологическая ценность белков семян льна, в сравнении с биологической ценностью белков молока, рассчитанная по аминокислотному скору, приведена в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика биологической ценности идеального белка, белков молока и белков семян льна

Незаменимые аминокислоты	Идеальный белок		Белок молока		Белок семян льна	
	г/100 г белка	Скор, %	г/100 г белка	Скор, %	г/100 г белка	Скор, %
Валин	5,0	100	4,7	94	5,2	104
Изолейцин	4,0	100	5,9	147	4,7	117,5
Лейцин	7,0	100	8,8	125	7,7	100,1
Лизин	5,5	100	8,2	149	5,8	105,45
Метионин + Цистин	3,5	100	3,3	94	2,3	67,7
Треонин	4,0	100	4,7	117	3,6	90,0
Фенилаланин + Тирозин	6,0	100	10,4	173	8,5	141,6
Всего	35		46		37,8	

Приведенные данные показывают, что белки семян льна по показателю аминокислотного скору не уступают белкам молока. Различия в аминокислотном составе белков молока и белков семян льна, позволяют заключить, что белки комплементарны друг другу по содержанию лимитирующих аминокислот, что имеет большие преимущества для обогащения рациона питания и открывает возможности их комбинирования [5, с. 36].

Количество белка, белкового и общего азота, а так же аминокислотный состав определяют пищевую ценность семян льна [6, с. 17]. Азот входит в состав белков, обе-

спечивает развитие и правильный рост тканей, организует правильную работу организма.

Нами были проведены исследования азотсодержащих соединений семян и жмыха льна.

Результаты проведенных исследований показали, что большую часть азотсодержащих соединений семян льна составляют белки, на долю которых приходится 92%, от общего азота. Небелковые экстрактивные вещества составляют в среднем порядка 7,95%, от общего азота. В таблице 3 представлено содержание различных форм азота и белка в семени льна [7, с. 187].

Таблица 3. Содержание различных форм азота и белка в семени льна

Форма азота	Массовая доля, % на абсолютно сухое вещество	%, от общего азота
Общий	3,52±0,19	100
Белковый	3,25±0,18	92,05
Небелковый	0,28±0,01	7,95
Сырой протеин	22,02±1,21	100
Белок	20,29±1,16	92,05

Более высокое количество белкового и общего азота объяснимо с позиций сбора льна на масло и на волокно.

Наиболее благополучные по содержанию белкового и общего азота семена, когда они находятся в фазе полной

спелости, когда запас питательных веществ в них максимален [8, с. 29].

Минимальное количество небелкового азота составляет 7,95%, от общего азота, что свидетельствует о зрелости семени [9, с. 165].

Так как семена льна масличного изначально являются сырьем для масложировой промышленности, и с экономической точки зрения их не целесообразно использовать

в качестве функционального ингредиента, нами была поставлена цель изучения льняного жмыха, как вторичного сырья переработки семян льна.

Дальнейшее изучение азота в ядрах проводили с учётом его содержания в обезжиренном жмыхе льна. Для этого семена льна измельчали и обезжиривали. Обезжиренный остаток использовали для исследований. Результаты опыта представлены в таблице 4 [10, с. 109].

Таблица 4. Содержание различных форм азота и белка в жмыхе льна

Форма азота	Массовая доля, % на абсолютно сухое вещество	%, от общего азота
Общий	5,91±0,03	100
Белковый	5,29±0,02	89,51
Небелковый	0,61±0,01	10,49
Сырой протеин	36,91±0,17	100
Белок	33,06±0,13	89,51

Проведенные исследования показали, что содержание белка в льняных жмыхах составляет в пределах 36,91%, что в 1,4 раза превышает его содержание в семенах. Содержание белкового азота в льняных жмыхах выше, чем в семенах, и составляет соответственно 5,29% в срав-

нении с 3,25% в семенах. Поэтому льняной жмых является более перспективным функциональным ингредиентом для производства функциональных молочных продуктов в сравнении с семенами льна [11, с. 105, 12, с. 100].

#### Литература:

1. Воронова, Н. С. Распределение электрофоретических фракций белковых изолятов из подсолнечного жмыха / Н. С. Воронова, Д. В. Овчаров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 10 (104). с. 943–952. — IDA[article ID]: 1041410070. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/70.pdf>, 0,625 у.п.л.
2. Бердина, А. Н. Биологическая ценность семян подсолнечника и продуктов их переработки / А. Н. Бердина, Н. В. Ильчишина, Н. С. Безверхая // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2008. — № 5–6. — с. 44–45.
3. Бердина, А. Н. Аминокислотный состав липопротеинов подсолнечника и пшеницы / А. Н. Бердина, Н. В. Ильчишина, Н. С. Безверхая // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2008. — № 2–3. — с. 26–28.
4. Безверхая, Н. С. Влияние ферментативной модификации белкового изолята из подсолнечного жмыха на качество мучных кондитерских изделий / Н. С. Безверхая, Н. В. Ильчишина // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2011. — № 4 (322). — с. 46–47.
5. Воронова, Н. С. Исследование химического состава и функциональных свойств белковых изолятов, полученных из подсолнечных семян и жмыха / Н. С. Воронова, А. Н. Бердина, Е. С. Кудлаева // Вестник НГИЭИ. — 2012. — № 8. — с. 37–45.
6. Безверхая, Н. С. Сравнительная характеристика двух биотипов гибридного подсолнечника с различным жирнокислотным составом запасных липидов / Н. С. Безверхая, Н. В. Ильчишина, С. Г. Ефименко, В. Г. Щебаков // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2010. — № 2–3. — с. 17–19.
7. Безверхая, Н. С. Влияние ферментативной модификации подсолнечных белковых изолятов на их аминокислотный состав и биологическую ценность / Н. С. Безверхая, А. Н. Бердина, Н. В. Ильчишина // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2010. — № 27. — с. 187–190.
8. Обогащение мучных кондитерских изделий модифицированным белковым изолятом из подсолнечного жмыха / Н. С. Воронова, Д. В. Овчаров // Молодой ученый. — 2015. № 5–1 (85). — с. 29–32.
9. Нестеренко, А. А. Инновационные технологии в производстве колбасной продукции / А. А. Нестеренко, А. М. Патиева, Н. М. Ильина. — Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. — 165 с.

10. Воронова, Н. С. Модифицированные белковые изоляты из подсолнечного жмыха / Н. С. Воронова. — Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. — 109 с.
11. Бердина, А. Н. Липопротеиновый комплекс семян подсолнечника / А. Н. Бердина, Н. С. Воронова, А. А. Нестеренко. — Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. — 105 с.
12. Воронова, Н. С. Совершенствование технологии получения белковых изолятов из подсолнечного жмыха и их использование для повышения пищевой ценности мучных кондитерских изделий: дис... канд. техн. наук: 05.18.01 / Воронова Наталья Сергеевна. — Краснодар, 2011. — 133 с.

## Основные направления развития исследований по переработке молока

Догарева Наталия Геннадьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;  
Оренбургский государственный университет

Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;  
Салихова Эльмира Маратовна, студент;  
Ткачук Ольга Владимировна, студент;  
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

Канарейкина Светлана Георгиевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;  
Башкирский государственный аграрный университет

Разработка новых молочных продуктов питания и повышение уровня качества становится основными направлениями биотехнологии пищевой промышленности [1–5]. Необходимы дальнейшие исследования, направленные на производство функциональных и специализированных продуктов питания, с использованием нетрадиционных источников пищевого сырья, содержащего природные антиоксиданты (флавоноиды). Обогащение продуктов природными антиоксидантами позволит также увеличить сроки годности продуктов и улучшить экономические показатели их производства. Важным направлением является дальнейшее развитие исследований в области геродиетического питания. К сожалению выпуск таких продуктов сдерживается рядом факторов, в числе которых можно выделить недостаточное внимание государства к проблемам питания людей пожилого возраста, фактическое отсутствие индустрии геродиетического питания, более высокая себестоимость данных продуктов.

Одно из перспективных направлений исследований — совершенствования состава молочных продуктов (гуманизация), предназначенных для детского питания, но доступных для всех групп населения. Гуманизация — это регулируемое изменение белковоуглеводного состава коровьего молока, приближающее его по составу к женскому, обладающему более высоким содержанием сывороточных белков и лактозы. При формировании систем органолептических и физико-химических показателей качества молочных продуктов с регулируемым углеводным составом целесообразно отталкиваться от медицинских показаний, т.е. прежде всего, учитывать заданные функциональные свойства, и нормировать оптимальные значения массовой доли лактозы в готовом продукте.

Молоко и молочные продукты, являясь полноценными продуктами питания [6–8], могут стать причиной непереносимости, связанной с аллергическими реакциями на их

компоненты — белки, жиры, углеводы и др. Чаще всего расстройство пищеварения связано с нарушением в переработке и резорбции лактозы. Специально для категории потребителей, с лактазной недостаточностью необходимо разрабатывать безлактозные и низколактозные молочные продукты.

Исследования в сыроделии становятся все более ориентированными на создание технологий новых видов продуктов, обогащенных физиологически полезными пищевыми ингредиентами, улучшающими здоровье человека. Сдвиг приоритета в эту сторону объясняется тем, что в последние годы состояние здоровья населения России характеризуется негативными тенденциями. И не последнюю роль в этом играет такой фактор, как питание.

Перспективны исследования в следующих направлениях: разработка технологий сыров и сырных паст на основе биологически ценных сывороточных белков, в т.ч. обогащенных функциональными ингредиентами; создание технологий лечебно-профилактических сыров, обогащенных лакто- и бифидобактериями с добавлением микро- и макроэлементов; изучение проблемы замены животного жира растительным с целью разработки технологии натуральных сыров со сбалансированной жировой фазой; исследование возможности использования растительных белков в составе сырных продуктов [9].

Каждый микро- или макроэлемент выполняет в организме особую функцию. Нежелателен избыток натрия в питании людей. Уменьшение содержания натрия в продуктах массового спроса является проблемой, на которую обращают внимание врачи и диетологи во многих странах мира. Исходя из этого перспективны исследования возможности частичной замены хлористого натрия при производстве сыров хлористым калием. По данным ВОЗ,

остеопороз по значимости вышел на четвертое место среди неинфекционных заболеваний после сердечно-сосудистой, онкологической патологии и сахарного диабета. Необходимо продолжать исследования в области создания творожных паст, обогащенных функциональными ингредиентами (солями кальция и витамином D) с целью получения продуктов для профилактики остеопороза.

Использование в молочной индустрии сырья растительного происхождения вызывает устойчивый интерес, т.к. ее решение позволяет расширить ассортимент и значительно увеличить выпуск молкосодержащих продуктов. Принципиальная возможность замены части молочных жира или белка на немолочные жир или белок доказана. И потому суть проводимых в настоящее время исследований в этой области сводится к уточнению технологии таких «комбинированных» продуктов [10, 11], установление закономерностей влияния того или иного компонента на параметры технологического процесса и качественные показатели продукта. Эффективность использования растительных добавок, заменяющей основные компоненты продукта, формирующие его пищевую ценность, должна оцениваться не только с экономической точки зрения, но и с социальной: что даст такая замена человеку в плане улучшения его здоровья. Использование растительных жиров в молочных продуктах вполне обосновано, поскольку растительные жиры по сравнению с молочным жиром имеют пониженное содержание и трансизомеров жирных кислот и холестерина, повышенное содержание полиненасыщенных жирных кислот. Исследования по использованию пищевых и биологически активных добавок в сыроделии должны иметь

цель; повышение статуса продуктов сыроделия среди других функциональных и лечебно-профилактических продуктов питания.

Анализ ситуации в молочной отрасли указывает на ряд проблем и ставит перед учеными отрасли ряд сложных задач.

Основными из них являются: проведение исследований в области разработки прогрессивных технологий и создания новых разновидностей молкосодержащих продуктов, соответствующих современной концепции здорового питания и развития отрасли в целом; проведение исследований по повышению биологической ценности и качества молочных продуктов, включая обеспечение безопасности и улучшение потребительских показателей за счет технологической обработки сырья, привлечения нетрадиционных сырьевых ресурсов; научное обоснование принципов планирования ассортимента продуктов; исследования по повышению конкурентоспособности отечественной молочной продукции за счет применения прогрессивных технологий холодильного хранения, высокоэффективных тароупаковочных материалов, обеспечивающих увеличение сроков годности; разработка современной нормативной и технической базы, регламентирующей производство продукции; создание новых моделей технологического оборудования, обеспечивающего эффективную выработку молочной продукции и обновление имеющегося в эксплуатации оборудования; совершенствование форм контроля производства и уточнение действующих нормативов и разработка новых методов контроля качества сырья и готовой продукции, в т.ч. на основе современного приборного обеспечения.

#### Литература:

1. Попова, М.А. Кисломолочные продукты функционального назначения / М.А. Попова, М.Б. Ребезов, О.В. Несмеянова // Экономика и бизнес. Взгляд молодых: материалы конференции молодых ученых. — Челябинск, 2013. — с. 173–176.
2. Бурцева, Т.И., Ребезов М.Б., Асенова Б.К., Стадникова С.В. Развитие технологий функциональных и специализированных продуктов питания животного происхождения: учебное пособие. — Алматы: МАП, 2015. — 215 с.
3. Канарейкина, С.Г., Ребезов М.Б., Нургазезова А.Н., Касымов С.К. Методологические основы разработки новых видов молочных продуктов: учебное пособие. — Алматы: МАП, 2015. — 126 с.
4. Миронова, И.В., Галиева З.А., Ребезов М.Б., Мотавина Л.И., Смольникова Ф.Х. Основы лечебно-профилактического питания: учебное пособие. — Алматы: МАП, 2015. — 112 с.
5. Догарева, Н.Г., Стадникова С.В., Ребезов М.Б. Создание новых видов продуктов из сырья животного происхождения и безотходных технологий их производства. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры Материалы конференции. 2013. с. 945–953.
6. Ребезов, М.Б., Богатова О.В., Догарева Н.Г., Альхамова Г.К., Наумова Н.Л., Залилов Р.В., Максимиук Н.Н. Основы технологии молока и молочных продуктов. Челябинск, 2011. Том 1
7. Максимиук, Н.Н., Ребезов М.Б. Физиологические основы продуктивности животных. Великий Новгород, 2013.
8. Ребезов, М.Б., Альхамова Г.К., Максимиук Н.Н., Талев Б.Н. Качество и безопасность молочного сырья. В сборнике: Современное состояние и перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания Материалы IV Международной конференции. 2010. с. 278–282.
9. Ребезов, М.Б., Богатова О.В., Максимиук Н.Н., Манылов С.В. Научные основы производства молока и молочных продуктов. Оренбург, 2008.
10. Шель, И.А., Прохасько Л.С., Асенова Б.К. Органолептическая оценка рассольного сыра с растительными компонентами. Молодой ученый. 2014. № 15. с. 114–116.



11. Канарейкина, С. Г., Храпова С. М., Галимова В. З. Теоретическое обоснование целесообразности применения пищевых добавок в молочной промышленности. В сборнике: Пути повышения эффективности АПК в условиях вступления России в ВТО материалы конференции (к XIII международной специализированной выставке «АГРО-2003»). 2003. с. 415–416.

## **Перспективные направления развития исследований по переработке молочной сыворотки**

Догарева Наталия Геннадьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;  
Оренбургский государственный университет

Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;  
Ткачук Ольга Владимировна, студент;  
Салихова Эльмира Маратовна, студент  
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск);

Канарейкина Светлана Георгиевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;  
Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа

Основными целями государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года является развитие производства пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми компонентами, а также продуктов функционального назначения [1–4]. Для сохранения здоровья населения и для предупреждения заболеваний немаловажное значение имеет употребление молочных продуктов питания.

Разработка новых продуктов питания и повышение уровня качества становится основными направлениями биотехнологии пищевой промышленности [5–8]. Необходимы дальнейшие исследования, направленные на производство функциональных и специализированных продуктов питания.

Производство высококачественных молочных продуктов непосредственно связано сырьем, поступающем на молокоперерабатывающие предприятия [11, 12, 13].

Проблемой является недостаточная степень комплексной переработки сыворотки. Данная проблема успешно решена в Европе, где сыворотку централизованно перерабатывают на немногочисленных крупнотоннажных заводах. Российскими проблемами являются значительные расстояния, большое количество молочных заводов с небольшими количествами сыворотки, а также разнообразие видов сыворотки (подсырная, творожная, казеиновая), что затрудняет концентрацию ее переработки.

Проблему переработки сыворотки невозможно решить без осуществления организационных мер: восстановления производства молочного сахара; расширения производства заменителей цельного молока с использованием молочной сыворотки; организации сбора и концентрация производства сгущенной и сухой сыворотки на крупнотоннажных установках с целевым использованием сыворотки на те или иные цели; проведения работ по унификации свойств перерабатываемой сыворотки различных видов.

Среди причин, сдерживающих переработку сыворотки можно также выделить: отсутствие средств на внедрение инновационных технологий и закупку нового оборудования; незначительные (по сравнению с другими отраслями) инвестиции в молочную промышленность; недостаточная информация о преимуществах продуктов из молочной сыворотки и реклама здорового образа жизни; отсутствие массового производства многофункциональных и поликомпонентных продуктов на ее основе.

Поэтому особое внимание в пищевой промышленности уделяется разработке новых продуктов питания животного происхождения [9], в том числе на основе творожной сыворотки, например десерты.

Одной из причин сложившейся ситуации является отсутствие прогрессивной технологии и соответствующего аппаратного оформления процесса сушки молочной сыворотки как специфического вида молочного сырья, значительно отличающегося по составу и свойствам от молока, для сушки которого и предназначена имеющаяся в отрасли техническая база.

Так например, высокая гигроскопичность ангидридных форм лактозы не только затрудняет процесс сушки сыворотки по сравнению с сушкой молока, но и не позволяет получить негигроскопичный продукт регламентируемой влажности, значительно снижая производительность используемого сушильного оборудования и увеличивая расход энергоресурсов.

Учитывая высокий удельный вес лактозы в сырье необходимо провести исследования по переводу гигроскопичных изомерных форм лактозы в негигроскопичную с соответствующим аппаратным оформлением, разработать интенсивную технологию сушки молочной сыворотки путем модернизации имеющегося в отрасли парка оборудования для сушки молока и созданием нового оборудования для этих целей.

Наблюдаемая в течение последних лет тенденция роста объемов производства напитков на основе молочной сыворотки дает основание предполагать и дальнейшее развитие данного направления.

Сывороточные белки — наиболее ценный компонент молочной сыворотки, содержащий все незаменимые аминокислоты. Перспективным является выделение сывороточных белков в неденатурированном состоянии методом ультрафильтрации. Такие белки максимально сохраняют свои уникальные свойства, и сфера их использования может быть значительно расширена за счет использования в составе функциональных, диетических, лечебно-профилактических и продуктов специализированного назначения. Этот метод выделения сывороточных белков уже широко используется за рубежом, однако в России не нашел достойного применения.

Лактоза является главным компонентом в составе сухих веществ сыворотки, в перспективе в РФ необходимо усовершенствовать технологии и возродить производство молочного сахара высоких кондиций — рафинированного и фармакопейного в объемах, обеспечивающих внутренние потребности отраслей, производящих продукты детского питания и фармацевтические препараты, и полностью исключить его импорт.

Среди биотехнологических методов переработки молочной сыворотки наибольшей перспективой обладает ферментативный гидролиз дисахарида лактозы до моносахаров глюкозы и галактозы. Этот метод нашел уже широкое промышленное применение в различных отраслях производства за рубежом.

Определенный интерес представляет ферментативный гидролиз сывороточных белков, наиболее богатых аминокислотами. Гидролизаты различной глубины могут найти широкое практическое применение в пищевых [10] и фармацевтических целях.

Путем биологической конверсии компонентов молочной сыворотки и, в первую очередь, лактозы, возможно достаточно дешевым способом получение таких ценных производных как лактаты калия, натрия, кальция; лактитол, лактулоза, лактотионовая кислота, органические кислоты (уксусная и молочная кислоты), витамины, этиловый спирт и др. Исследования в этом направлении перспективны и их успешное завершение позволит разработать ряд новых эффективных технологий.

Интерес к молочной сыворотке во всем мире продолжает расти. В первую очередь это касается технологий глубокой переработки молочной сыворотки, которые позволяют получать новые продукты с заданными биологическими характеристиками.

#### Литература:

1. Попова, М. А. Кисломолочные продукты функционального назначения / М. А. Попова, М. Б. Ребезов, О. В. Несмеянова // Экономика и бизнес. Взгляд молодых: материалы международной заочной научно-практической конференции молодых ученых, 3 декабря 2013 г. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. — с. 173—176.
2. Гаязова, А. О. Технология продукции функционального назначения / А. О. Гаязова, М. Б. Ребезов, М. А. Попова, С. В. Лукиных // Технология и продукты здорового питания: материалы VIII Международной научно-практической конференции — Саратов: Буква, 2014. — С.86—89.
3. Бурцева, Т. И., Ребезов М. Б., Асенова Б. К., Стадникова С. В. Развитие технологий функциональных и специализированных продуктов питания животного происхождения: учебное пособие. — Алматы: МАП, 2015. — 215 с.
4. Лукиных, С. В. Разработка функциональных продуктов питания с учетом современных требований / С. В. Лукиных, М. Б. Ребезов, М. А. Попова, А. О. Гаязова // Продовольственная индустрия: безопасность и интеграция: материалы международной научно-практической конференции — Пермь: ИПЦ Прокрость, 2014. — с. 31—34.
5. Прохасько, Л. С., Ребезов М. Б., Нурымхан Г. Н. Современные проблемы науки и техники в пищевой промышленности: учебное пособие. — Алматы: МАП, 2015. — 112 с.
6. Асенова, Б. К., Ребезов М. Б., Топурия Г. М., Топурия Л. Ю., Смольникова Ф. Х. Контроль качества молока и молочных продуктов: учебное пособие. — Алматы: Халықаралық жазылым агентігі, 2013. — 212 с.
7. Канарейкина, С. Г., Ребезов М. Б., Нургазезова А. Н., Касымов С. К. Методологические основы разработки новых видов молочных продуктов: учебное пособие. — Алматы: МАП, 2015. — 126 с.
8. Миронова, И. В., Галиева З. А., Ребезов М. Б., Мотавина Л. И., Смольникова Ф. Х. Основы лечебно-профилактического питания: учебное пособие. — Алматы: МАП, 2015. — 112 с.
9. Догарева, Н. Г., Стадникова С. В., Ребезов М. Б. Создание новых видов продуктов из сырья животного происхождения и безотходных технологий их производства. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры Материалы конференции. 2013. с. 945—953.
10. Ребезов, М. Б., Зинина О. В., Максимюк Н. Н., Соловьева А. А. Использование животных белков в производстве мясопродуктов. Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. 2014. № 76. с. 51—53.
11. Ребезов, М. Б., Альхамова Г. К., Максимюк Н. Н., Талев Б. Н. Качество и безопасность молочного сырья. В сборнике: Современное состояние и перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания Материалы IV Международной конференции. 2010. с. 278—282.

12. Богатова, О. В., Стадникова С. В., Ребезов М. Б. Содержание тяжелых металлов в молоке коров. В сборнике: Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство Международная конференция. 2013. с. 752–755.
13. Кондратьева, А. В., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Богатова О. В. Управление качеством на молокоперерабатывающих предприятиях. Молодой ученый. 2014. № 11. с. 55–59.

## Конструкции фундаментов под водопропускными трубами на автомобильных дорогах устраиваемых на пучинистых грунтах

Желтышева Анастасия Сергеевна, студент;  
Юшков Борис Семенович, кандидат технических наук, профессор  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*Рассмотрен процесс промерзания грунтов вокруг неотапливаемых инженерных сооружений и зависимость деформации фундамента водопропускной трубы от физико-механического состояния глинистых пучинистых грунтов. Представлен способ соблюдения устойчивости сооружения против сил морозного пучения при применении двуконусных свай в конструкции фундамента.*

**Ключевые слова:** водопропускная труба, неотапливаемое инженерное сооружение, свая, глинистый грунт, пучинистый грунт.

Фундаменты зданий и инженерных сооружений, расположенных в зоне сезонного промерзания грунтов, подвергаются воздействию деформационных сил морозного пучения. Морозное пучение грунтов относится к физико-механическим процессам, в результате которых промерзающий грунт находится напряженно-деформированном состоянии под действием термодинамических изменений. Возникающие напряжения настолько значительны, что могут вызвать деформации зданий и сооружений, смещение (искривление) железнодорожной колеи, опор мостов, разрушение покрытий автомобильных дорог и т.д. Изучение морозного пучения стало предметом исследования многих ученых. Впервые, физически верное объяснение причин пучения грунта за счет миграции влаги из нижележащих в верхние промерзающие слои выдвинул В. И. Штукенберг в 1885 г. Этой проблемой так же занимались русские ученые С. Г. Войслав, П. Н. Любимов, Н. С. Богданов; в 30-е годы XX века — Н. Д. Белокрылов, Н. В. Орнатский, О. Н. Ринк, М. И. Сумгин и др.; в 40-е годы — Н. И. Быков, С. С. Вялов, М. С. Гутман, Б. И. Далматов и др.; позже — П. А. Аббасов, Е. В. Андреева, А. А. Бартоломей, В. И. Берман, О. К. Вострецов, Л. Б. Ганелес, Ю. Д. Дубнов, Э. Д. Ершов, В. Н. Зекин, И. А. Злотарь, В. Д. Карлов, О. П. Медведева, В. О. Орлов, Б. Г. Петров, А. М. Пчелинцев, В. С. Сажин, И. И. Сахаров, И. И. Туренко, Н. А. Тютюнов, В. В. Фурсов, В. Я. Хаин, Н. В. Шейкин, В. Я. Шишкин, Б. С. Юшков и др.

Исследования теплового взаимодействия подземных инженерных сооружений и окружающего пучинистого грунта с целью правильного решения вопросов проектирования, строительства и их эксплуатации имеют большое как научное, так и практическое значение.

Анализ причин деформации зданий и сооружений, происходящих в результате воздействия на них сил морозного пучения грунта, показывает, что они возникают в тех случаях, когда в проектах не предусмотрены соответствующие противопучинистые меры, направленные на обеспечение устойчивости сооружений как в процессе их возведения, так и в период эксплуатации. Эти силы проявляются при морозном пучении грунта около заглубленных в грунт конструкций (фундаментов легких сооружений, колодцев, подземных коммуникаций, труб для отвода конденсата и т.д.)

Распределение температуры в грунте по глубине имеет существенное значение при сооружении и эксплуатации водопропускной трубы, поэтому подошву фундамента сооружения рекомендуется закладывать ниже зоны промерзания грунта. По мере усиления морозов будет увеличиваться и глубина промерзания грунта. Когда глубина промерзания достигнет уровня подземных грунтовых вод, начнется их превращение в лед, а вместе с этим и вспучивание, «вздутие» грунта. Это неприятное явление усугубляется еще и тем, что вспучивание практически никогда не бывает равномерным и в разных местах фундамента подъем грунта будет неодинаковым. Следствие этого — перекос фундамента, перераспределение нагрузок в нем и во всем строении, возможность появления трещин. Если бы процесс шел равномерно, то проблеме вспучивания грунта не нужно было бы уделять столько внимания.

Температурный режим грунта зависит от того являются ли находящиеся в (на) нем сооружения источником или поглотителем тепла.

Характер промерзания грунтов в непосредственной близости у фундаментов зданий и сооружений существенно зависит от теплового режима последних.

У фундаментов неотапливаемых зданий и сооружений вследствие большей теплопроводности материала фундамента по сравнению с окружающим его грунтом кривая проникновения нулевой изотермы или границы промерзания грунта искривляется вниз.

У фундаментов отапливаемых сооружений кривая проникновения нулевой изотермы или граница промерзания грунта, в отличие от вышерассмотренных случаев, как правило, имеет иной вид.

Результаты исследований показывают, что глубина промерзания грунта около отапливаемых зданий и сооружений бывает на 30–50% меньше, чем в естественных условиях на некотором удалении от них [3].

Замечено, что в сооружениях, имеющих в плане удлиненную форму, наибольшую осадку получают средние части. Действительно, если подстилающие грунты по всей длине сооружения, сложенного из одних и тех же материалов и с одной площадью сечения, имеют сравнительно одинаковые физико-механические свойства, а осадки и напряжения в основании близки к нормативным, то повреждения здесь может вызвать фактическое распределение напряжений в основании. Установлено, что на концевых участках нагрузка распределяется по большей площади. Следовательно, концы сооружения, получая большую площадь опоры, имеют и меньшую осадку. К сожалению, при строительстве водопропускных труб данное утверждение не совсем верно, это обуславливается особенностью конструкции водопропускной трубы, так как оттаивание грунта и насыщения его свободной водой в первую очередь происходит у входного и выходного оголовков, а средняя часть трубы достаточно продолжительное время может оставаться в мерзлом состоянии. Скопившийся в ледяных линзах и прослойках лед в верхней части оттаивает, и поры грунта заполняются свободной водой. В этот расчетный по состоянию грунта период могут возникнуть просадки, которые приводят к разрыву стыков водопропускных труб.

На практике стыки между звеньями и фундаментами труб нередко расстраиваются вследствие неравномерной осадки основания. При слабых основаниях осадки сопровождаются выдавливанием грунта в стороны оголовков.

Структура конструкции трубы в продольном направлении состоит из тела трубы, которое в свою очередь образуется из отдельных секций, и оголовков трубы [5]. Слабо уплотненная насыпь «растягивается» вдоль трубы, которая при этом удлиняется за счет увеличения осадочных швов каждой секции.

В настоящее время известен довольно широкий набор мероприятий, направленных на борьбу с действием сил морозного пучения: инженерно-мелиоративные мероприятия (тепломелиорация; гидромелиорация), строительно-конструктивные мероприятия (проектирование сооружений на столбчатых и свайных фундаментах; уменьшение количества отдельно стоящих опор фундаментов с целью увеличения нагрузки на каждую опору; уменьшение сечения столбчатых фундаментов и свай в пределах слоя промерзающего пучинистого грунта; применение для обмазки боковой поверхности фундаментов вязких и смерзающихся материалы, а так же гидрофобизирующих пропиток; заанкеривание фундаментов в талых или мерзлых грунтах, залегающих глубже сезоннопромерзающего слоя и т.д.), физико-механические мероприятия (специальная обработка грунта вяжущими, благодаря которым грунт становится водостойким (гидрофобным) и теряет свои пучинистые свойства; насыщение грунта солевыми растворами, понижающими температуру замерзания и тем самым способствующими уменьшению глубины промерзания грунта), физические противопучинистые мероприятия (метод стабилизации грунтов посредством введения в них добавок противопучинистых компенсирующих веществ, обладающих определенными объемно-деформационными свойствами) [1]. При этом существуют общестроительные документы, регламентирующие методики расчетов и применения мероприятий по борьбе с морозным пучением, а также отраслевые и ведомственные методические рекомендации, в которых отражены особенности отрасли и возводимых инженерных сооружений. Так, например, в дорожном строительстве главными методами борьбы с пучинообразованием являются применение обмазок и покрытий, препятствующих их смерзанию с грунтом, снижение влажности грунтов основания, замена пучинистого грунта основания на непучинистый и, наконец, увеличение глубины заложения фундаментов.

Следовательно, не существует единого набора мероприятий, которые могут гарантированно обезопасить любое искусственное инженерное сооружение от деформаций и разрушений вследствие действия сил морозного пучения. Всегда при выборе мероприятий следует руководствоваться особенностями местных условий, применяемых материалов и конструкций, экономическим соображениям и т.д. Очевидно, что одновременное применение различных мероприятий в определенных сочетаниях позволит достичь главной цели — эффективной и безопасной работы инженерного сооружения в течение запланированного расчетного срока службы. Однако применение целых комплексов мер требует и осуществления целых комплексов затрат, что существенно удорожает стоимость строительства в целом.

На основании изложенного одним из наиболее распространенных способов борьбы с морозным пучением в сезоннопромерзающих грунтах является применение свайных фундаментов.

В практике строительства свайные фундаменты используются давно. Наиболее широкое применение получили железобетонные сплошные сваи квадратного сечения, имеющие низкую удельную несущую способность, высокую материалоемкость и большую массу. По этим причинам возникла необходимость разработки более эффективных конструкций свай: составные сваи, сваи-колонны, пирамидальные, плоскопрофилированные, пустотелые призматические, конические и таврового сечения, сваи с лопастями, набивные сваи с различной формой продольного и поперечного сечения, а также сваи в пробитых и вытрамбованных скважинах.



Анализ большого разнообразия новых конструкций свай показал, что еще не найдена оптимальная конструкция, которая была бы лишена недостатков и в которой с максимальной эффективностью использовалась бы несущая способность сваи по грунту и материалу ствола. Мнение исследователей о целесообразности применения свай того или иного вида весьма противоречиво и во многом зависит от грунтовых условий. Для определения взаимодействия грунта и сваи необходимо решить вопросы, касающиеся сопротивления грунта основания сваи, его напряженного состояния выпора, осадки и несущей способности свай.

Следует отметить, что эффективность применения двуконусных свай многократно доказана. Несущая способность таких свай в 2–2,5 раза больше несущей способности обычных призматических свай [2]. Однако массового применения в строительстве, особенно в слабых пылевато-глинистых грунтах, двуконусные сваи не нашли, так как еще недостаточно изучена их работа в грунте.

Вопрос о возможности применения двуконусных свай решается на основе анализа данных изысканий, проектируемой длины свай, исходя из несущей способности свай по грунту, сведений об имеющихся сваепогружающих механизмах и т.д. Применение фундаментов в виде кустов из двуконусных рекомендуется при строительстве малых искусственных сооружений, путепроводов, эстакад, тоннелей и других сооружений. Двуконусные сваи рекомендуется применять при погружении в напластовании глинистых грунтов текучепластичной, мягкопластичной, тугопластичной консистенции. При этом возможно прорезание прослойки следующих видов грунтов:

- суглинки и глины полутвердой и твердой консистенции — 1,0 м;
- суглинки и глины тугопластичной консистенции — 3,0 м.

Опираемость сваи рекомендуется осуществлять на суглинки и глины полутвердой, твердой консистенции. Фундаменты из двуконусных свай применимы по деформациям пучения в пучинистых и слабопучинистых грунтах без ограничений.

Для оценки эффективности применения двуконусных свай может быть использован коэффициент эффективности [5]  $k_э = \frac{F_{дк}^{уд}}{F_{пр}^{уд}}$ , где  $F_{дк}^{уд}$  — удельная несущая способность материала двуконусной сваи, кН/м<sup>3</sup>;  $F_{пр}^{уд}$  — удельная несущая способность материала призматической сваи, кН/м<sup>3</sup>.

Опыт строительства дорог показал, что многие трубы деформируются. Наибольшие деформации испытывают трубы на глинистых грунтах (удлинение, отжим оголовков, осадки, трещины в звеньях).

При применении двуконусных свай необходимо учитывать подъем свай от действия сил морозного пучения. Опираясь на данные экспериментальных исследований, полагают, что в процессе подъем свай действующая на нее выталкивающая сила морозного пучения уменьшается по линейному закону [5]:  $F_z = F_z^0 \left(1 - \frac{h_c}{h_f}\right)$ , где  $F_z^0$  — действующая на сваю сила морозного пучения, кН;  $h_c$  — подъем сваи, м;  $h_f$  — подъем свободной поверхности грунта, м.

Подъем сваи прекращается, когда выполняется равенство [5]:

$$F_z = N + P + P_n + f_{cp}u(l - d_f),$$

где  $N$  — нагрузка на сваю, кН;  $P$  — вес сваи, кН;  $P_n$  — сила создаваемая нормальным давлением при пучении грунта, кН;  $f_{cp}$  — расчетное сопротивление грунта основания на боковой поверхности сваи, кН/м<sup>2</sup>;  $u$  — периметр сваи, м;  $l$  — длина сваи, м.

Сила морозного пучения определяется по формуле [5]:

$$F_z^0 = 8R_{cp}G(d_f - d_f^{cb})(b\beta[K_0R_{cp}\beta + K_12(1 - \nu)] + d\beta K_1),$$

где  $d_f$  — максимальная глубина промерзания грунта, м;  $d_f^{cb}$  — глубина смерзания пучинистого грунта с поверхностью сваи, м;  $d_f^H = \frac{d_f^H}{K_{cm}}$ , где  $d_f^H$  — нормативная глубина промерзания грунта, м;  $K_{cm}$  — коэффициент смерзания, зависящий от природно-климатических условий.  $b$  и  $d$  — расчетные коэффициенты, зависящие от геометрических характеристик двуконусной сваи,  $\beta$  — коэффициент периодичности, м<sup>-1</sup>;  $K_0$  и  $K_1$  — значения функции Макдональда нулевого и первого порядка соответственно;  $\nu$  — коэффициент общей относительной поперечной деформации грунта.

При расчете морозного пучения группы свай необходимо учитывать их взаимное влияние.

Особенности поведения свайного куста при морозном пучении обусловлены взаимодействием полей напряжений, возникающих вокруг одиночных свай при их подъеме от морозного пучения грунта. Полная сила, действующая на сваю куста, может быть представлена в виде суммы двух слагаемых [5]:  $F_z^{полн} = F_z^0 + F_z^{дон}$ , где  $F_z^0$  — сила морозного пучения, действующая на обособленную одиночную сваю (не входящую в состав куста);  $F_z^{дон}$  — сила, определяемая суммой полей напряжений, возникающих в грунте при подъеме свай куста, которые при этом рассматриваются как обособленные.

Несущую способность двуконусных свай с использованием табличных значений расчетных сопротивлений по острию и боковой поверхности определяют согласно п.4.4 СНиП 2.02.03–85 без учета верхнего конуса [5]:

$$F_d = \gamma_c [RA + \sum h_i(u_i f_i + u_{0i} i_p E_i K_i \xi_R)],$$

где  $\gamma_c$  — коэффициент условий работы свай в грунте;  $R$  — расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа;  $A$  — площадь опирания сваи на грунт, м<sup>2</sup>;  $h_i$  — толщина  $i$ -ого слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;  $u_i$  — наружный периметр  $i$ -ого поперечного сечения сваи, м;  $f_i$  — расчетное сопротивление  $i$ -



ого слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, кПа;  $u_{0i}$  — сумма размеров сторон  $i$ -ого поперечного сечения сваи, который имеет наклон к оси сваи, м;  $i_p$  — наклон боковых граней сваи в долях единицы;  $E_i$  — модуль деформации  $i$ -ого слоя грунта, окружающего боковую поверхность сваи, Мпа;  $K_i$  — коэффициент, зависящий от вида грунта;  $\xi_R$  — реологический коэффициент.

При погружении сваи в водонасыщенные глинистые грунты возникают дополнительные давления в поровой воде, происходит нарушение структурных связей скелета грунта. После погружения сваи силы трения по боковой поверхности практически равны нулю. С течением времени наблюдается релаксация напряжений, поровое давление затухает, а давление в скелете грунта возрастает до стабилизированных значений. Одновременно происходит тиксотропное упрочнение грунта вызванное развитием в грунте новых структурных связей в следствие увеличения их количества в единице объема при уплотнение грунта сваями и упрочнения грунта под действием возникающих напряжений. Тиксотропное упрочнение и консолидация грунтов неразрывно связано между собой. Сваи погруженные в водонасыщенные грунты достигают полной несущей способности после окончания этих процессов.

Исследованиями установлено, что при работе двуконусных свай в водонасыщенных глинистых грунтах их несущая способность со временем увеличивается более чем в 1,9 раза по сравнению с первоначальной. Несущая способность свай с учетом фактора времени определяется по формуле [5]:  $F_t = F_0(1 + U_3)$ , где  $F_0$  — несущая способность свай фундамента, определенная по результатам статического зондирования;  $U_3$  — степень консолидации.

Для расчета осадок конических свай используется формула [5]:  $S = (P^I / \pi E_1) \delta_0$ , где  $S$  — осадка свайного фундамента, м;  $P^I$  — погонная нагрузка на свайный фундамент за вычетом силы, уравновешиваемой вертикальной составляющей  $F$ , сил бокового отпора грунта;  $E_1$  — модуль деформации грунта активной зоны с учетом уплотнения грунта под сваям в результате их погружения, Мпа;  $\delta_0$  — безразмерная компонента перемещения.

Из выше сказанного следует отметить перспективность широкого использования двуконусных свай в конструкциях на слабых водонасыщенных глинистых сезоннопромерзающих пучинистых грунтах

Двуконусные сваи работают лучше в сезоннопромерзающем грунте, увеличивают несущую способность за счет уклона боковой поверхности, снижают величину выпучивания от действия сил морозного пучения, по сравнению с призматическими и цилиндрическими.

Анализ различных конструктивных приемов показал, что одним из более целесообразных решений для строительства неотапливаемых сооружений на глинистых пучинистых грунтах является использование свайных фундаментов.

#### Литература:

1. Б. С. Юшков. Экспериментально-теоретические основы расчета фундаментов из двуконусных свай, устраиваемых в сезоннопромерзающих грунтах. Пермь «ОТ и ДО», 2014
2. Б. С. Юшков, Л. В. Дуракова, И. В. Ширинкин. Определение несущей способности свай во времени. Материалы всесоюзного совещания-семинара «Современные проблемы свайного фундамента в СССР». — Пермь, 1988
3. Б. С. Юшков, И. В. Ротт. Влияние морозного пучения на подпорные стенки и разработка метода борьбы с пучинистостью. Сборник научных трудов XII НТК молодых ученых. — Пермь, 1986
4. Яковлев, Ю. М., Горячев М. Г. Строительство водопропускных труб на автомобильных дорогах. Москва, 2011
5. Рекомендации по применению двуконусных свай на пучинистых грунтах транспортных сооружений. Пермь «ПНИПУ», 2013
6. Энциклопедия современной техники. Москва «Советская энциклопедия», 1964

## Влияние поливинилацетата на качество покрытия при производстве мелованных видов упаковочных материалов

Корниенко Наталья Дмитриевна, студент;  
Пинчукова Ксения Владимировна, студент  
Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова

*В статье рассматривается возможность применение поливинилацетата в качестве связующего компонента при получении мелованных составов. Установлена количественная зависимость между объемом вводимого ПВА и свойствами мелованного покрытия. Проведен анализ сорбционных свойств мелованных видов упаковочной бумаги и картона при использовании поливинилацетата в качестве связующего компонента в кроющей суспензии.*

**Ключевые слова:** бумага, картон, связующие, поливинилацетат, вязкость, впитываемость.

На сегодняшний день мелованную бумагу можно назвать наиболее популярным материалом для печати. Именно обилием рекламной, престижной, представительской, высокохудожественной продукции диктуется применение высококачественной бумаги, какой является бумага мелованная. Она представляет собой бумагу-основу с нанесенным на неё покровным слоем из белых пигментов и связующих веществ.

Основным фактором, определяющим потребительские свойства мелованных видов бумаг и картонов, является белизна и стабильность. Белизна бумаги зависит от степени белизны волокон, из которых она состоит, а также от содержания минеральных наполнителей, проклеивающих и окрашивающих веществ. Повысить белизну бумаги можно различными способами: использовать для ее изготовления целлюлозу высокой степени белизны, применить наполнитель повышенной белизны, осуществить подцветку бумаги ее подсиниванием [1,6,8]. Наконец, видимую белизну бумаги можно повысить при использовании так называемых оптических отбеливателей. Этот последний способ повышения белизны бумаги имеет преимущество по сравнению с другими способами повышения белизны, так как не оказывает отрицательного влияния на основные свойства бумаги [1,2,10,12].

Главное печатное свойство мелованной бумаги — это ее впитывание. Пористость бумаги составляет примерно 30%, при этом размер пор не более 0,03 мкм. Под воздействием сил капиллярного давления поверхностный слой бумаги впитывает преимущественно маловязкий растворитель, который входит в состав краски для печати, а пленкообразователь и пигмент сохраняются на поверхности бумаги. Таким образом, на мелованной бумаге удастся получить яркое, четкое и красочное изображение [9].

Несмотря на то, что общие принципы изготовления мелованной бумаги одинаковы, каждая марка обладает своим уникальным набором характеристик. Прежде всего бумага отличается по толщине (мм) и массе квадратного метра (г/м<sup>2</sup>) [15]. Для получения высококонцентрированных 70% меловальных суспензий в качестве адгезива при получении гумированных и декоративных бумаг используют декстрин белый палевый. Его получают в результате обработки крахмала при температуре 125–155°C в присутствии минеральных кислот. Главным преимуществом декстрина является его низкая вязкость [4,11].

Как добавку для снижения вязкости меловальных паст, а также повышения удержания наполнителя и прочности бумаги, используют камеди. Он имеет чрезвычайно низкую вязкость и является хорошим диспергатором. Такие характеристики необходимы для производства мелованных бумаг, которые используются в ликероводочной, табачной и кондитерской промышленности. А именно для создания прочных, красочных коробок для бутылок, под сигареты и для конфет. Получают камеди в результате выдерживания крахмала в течении 5–6 ч. при температуре 180–190°C [11].

Нанесение мелованного покрытия снижает воздухопроницаемость бумаги [12,13]. На величину этого показателя оказывают влияние свойства, как пигмента, так и связующего компонента мелованных суспензий. Покрытия на основе ПВА имеют наиболее плотную, сомкнутую структуру с малой пористостью и низкой воздухопроницаемостью [12]. ПВА является весьма эффективным связующим материалом: наличие в цепях полимера амидных и карбоксильных групп приводит к интенсивному межмолекулярному взаимодействию с образованием водородных связей между цепочками полимера и целлюлозы [3,5,7].

В работе представлены результаты исследований влияния поливинилацетата как связующего компонента мелованных составов на сорбционные свойства мелованных видов картона. В качестве объекта исследования рассматривали мелованную суспензию W131-E04N Premo Oraque TX. Исследуемая мелованная суспензия имеет следующий состав: связующее (модифицированная акриловая эмульсия) — от 5 до 15%, наполнитель (неорганический пигмент) — от 35 до 45%, нейтрализующий агент (амины) — от 1 до 3%, добавки (воски, скользящие добавки, пластификаторы) — от 5 до 10%, вода — от 40 до 50%. В ходе исследования в базовую меловальную суспензию вводили различный объем поливинилацетата (ПВА) в количественном соотношении 10%, 30% и 50% (к исходному объему меловальной суспензии). Исследования проводились с использованием образцов картона Т-23Е исходная впитываемость картонов составила 25,3 г/м<sup>2</sup>. Свойства суспензии и готовой продукции характеризовали показателями: вязкости и впитываемости при одностороннем смачивании. Вязкость, полученных покровных составов, была определена по стандартной методике ГОСТ-33.

Данные, полученные в результате эксперимента, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сорбционные свойства мелованных видов исследуемого картона при различных объемах связующего — поливинилацетата

№ образца	Количество ПВА, мл	Вязкость $\eta$ , мм <sup>2</sup> /с	Впитываемость при одностороннем смачивании G, г/м <sup>2</sup>
1	1	56	42
2	3	124,75	40
3	5	259,5	36

Полученные результаты показали, что вязкость покрывного состава и впитываемость готовой продукции на-

прямую зависят от количества, введенного ПВА. Эти зависимости продемонстрированы на рисунках 1 и 2.

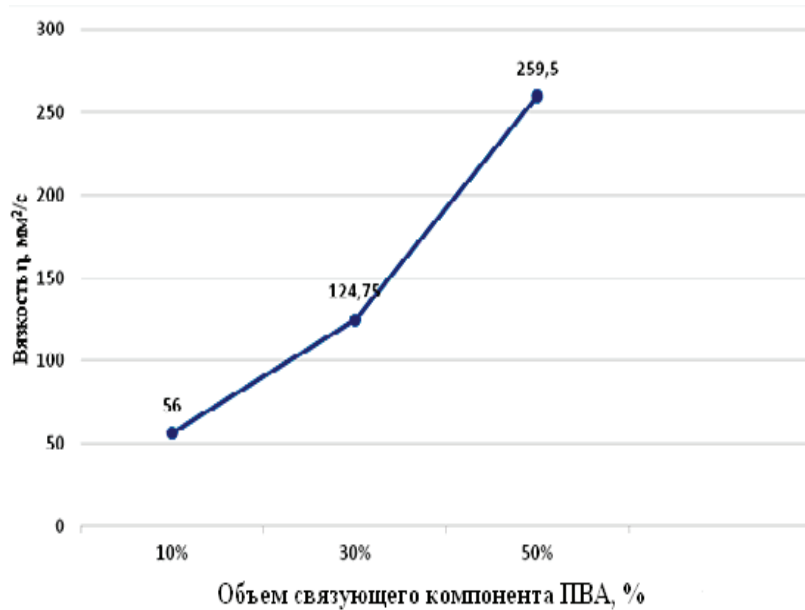


Рис. 1. Зависимость вязкости покрывного состава от процентного соотношения объема ПВА к объему меловальной суспензии

Визуально мелованный картон стал более плотным и сомкнутым.



Рис. 2. Зависимость впитываемости готовой продукции от процентного соотношения объема ПВА к объему меловальной суспензии

Знания, полученные в ходе эксперимента, позволяют корректировать составы меловальных суспензий для при-

дания улучшенных гидрофобных свойств готовой продукции.

Литература:

1. Бондарев, А.И. Производство бумаги и картона с покрытием / А.И. Бондарев. — М.: Лесная промышленность, 1985. — 192 с.

2. Мелованная бумага [Электронный источник]: Компания «Центр Полиграфия» / 2014. — Режим доступа: <http://poligraforg.ru/bumaga/melovonnaia-bumaga.php>
3. Мишурина, О. А., Тагаева К. А. Исследование влияния композиционного состава по волокну на влагопрочностные свойства исходного сырья при производстве картонных втулок // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. — 2013. — Т. 1. № 71. — с. 286–289.
4. Мишурина, О. А., Корниенко Н. Д., Жерякова К. В., Муллина Э. Р. Анализ влияния химического состава кроющих суспензий на качество покрытий при производстве мелованных видов бумаг и картона // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 26–28.
5. Мишурина, О. А., Ершова О. В., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р. Технологические решения по производству упаковочного картона с улучшенными влагопрочностными свойствами // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–19. с. 4166–4170.
6. Мишурина, О. А., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р. Химические превращения кислородсодержащих ионов хлора растворов при разных значениях диапазона pH // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 2–2. с. 43–46.
7. Муллина, Э. Р., Мишурина О. А., Чупрова Л. В., Ершова О. В. Влияние химической природы проклеивающих компонентов на гидрофильные и гидрофобные свойства целлюлозных материалов // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 6. — с. 250; URL: [www.science-education.ru/120-16572](http://www.science-education.ru/120-16572) (дата обращения: 24.06.2015).
8. Муллина, Э. Р., Мишурина О. А., Ишкуватова А. Р., Нигматуллина Л. И. Изучение влияния отбеливающих реагентов на физико-механические показатели вторичных волокон целлюлозы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 6–2. с. 206–208.
9. Пен, Р. З., Чендылова Л. В., Шапиро И. Л. Реологические свойства меловальных суспензий. Свойства пигментов и связующих // Химия растительного сырья. 2005. № 2. с. 5–10.
10. Производство и продажа мелованной бумаги [Электронный источник]: ООО «Леоновская Картонажная Фабрика» 2014 — Режим доступа: <http://snabupak.ru/pages/?id=44>.
11. Состав суспензии для мелования [Электронный источник]: Научно — популярный портал «История книги» / 2013. — Режим доступа: <http://maxbooks.ru/paper/papir14.htm>.
12. Хованский, В. В., Дубовый В. К., Кейзер П. М., Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона. Учебное пособие, Санкт-Петербург 2013 г. с. 7–8.
13. Фляте, Д. М. Технология бумаги: учеб. для вузов — М.: Лесная промышленность, 1988. — 440 с.

## Комплексная оценка массообменных и энергетических характеристик барботажных тарелок

Лаптева Елена Анатольевна, кандидат технических наук, доцент;  
Ишмуратова Лейсан Мидхатовна, магистрант  
Казанский государственный энергетический университет

*Рассмотрены подходы и представлены выражения для расчета энергоэффективности тарелок тепло-массообменных аппаратов. Даны результаты расчетов энергетического коэффициента тарелок различных конструкций. Сделаны выводы о наиболее эффективных конструкциях тарелок.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, теплообмен, тарелки, энергетические коэффициенты.

Для решения задач повышения эффективности промышленных теплообменных аппаратов применяются известные методы оптимизации с использованием критериев оптимальности. В качестве критериев могут быть различные КПД и энергетические комплексы и коэффициенты. К таким КПД относятся: тепловой и энергетический КПД, термический цикл Карно, относительный КПД теплоэнергетической установки, утилизаторов теплоты — эффективности теплообмена, предложенный

Кейсом и Лондоном, коэффициент использования теплоносителя и др.

Важным критерием оценки эффективности использования топливно-энергетических ресурсов служит энергоёмкость выпускаемой продукции, т.е. отношение потребляемых топливно-энергетических ресурсов (приведенных к условному топливу) к количеству выпускаемой продукции. Естественно, что использование любых критериев энергоэффективности имеет смысл, если про-



мышленная установка (производство) обеспечивает требуемое качество выпускаемой продукции в заданном интервале нагрузок по исходному сырью.

В статье для выбора энергоэффективных и энергосберегающих научно-технических решений по модернизации тепломассообменных аппаратов используются энергетические коэффициенты Кирпичева и Ануфьева [1]. Конечной целью является снижение энергозатрат на единицу выпускаемой продукции в топливно-энергетическом комплексе и других отраслях промышленности.

### Контактные тарелки

Тарельчатые колонные аппараты используют для проведения процессов ректификации, абсорбции, десорбции, охлаждения газов и жидкостей, мокрой очистки газов от пыли [2–4].

В середине прошлого века тарелки с колпачками получили наиболее широкое распространение благодаря своей универсальности и высокой эксплуатационной надежности; они достаточно эффективны, но металлоемки и сложны в монтаже.

Клапанные тарелки по сравнению с колпачковыми имеют более высокую эффективность и на 20–40% большую производительность. Основным отличием тарелок этого типа от контактных устройств других типов, является возможность работы при меняющихся нагрузках по паровой фазе. Клапанные тарелки используют в колоннах, работающих при атмосферном и повышенном давлении при работе со средами, не склонными к смолообразованию и полимеризации, во избежание прилипания клапана к тарелке.

Ситчатые тарелки имеют достаточно высокую эффективность, малое гидравлическое сопротивление и низкую металлоемкость. Они применяются преимущественно в колоннах, работающих при атмосферном давлении и под вакуумом; во избежание забивки отверстий рекомендуется использовать чистые жидкости.

В настоящее время используются в основном многопоточные ситчатые, клапанные тарелки, а также струйные, комбинированные и другие.

### Энергетическая эффективность

Академик М. В. Кирпичев предложил для оценки эффективности поверхности теплообмена использовать энергетический коэффициент  $E$ , равный отношению количества тепла  $Q$ , отданного поверхностью, к мощности  $N$ , затраченной на перекачивание теплоносителя относительно поверхности:

$$E = \frac{Q}{N}. \quad (1)$$

Коэффициент  $E$  характеризует степень использования работы, затраченной на передачу тепла, или теплогидродинамическое совершенство организации процесса теплообмена около некоторой поверхности.

Аналогично может быть записано выражение для оценки энергоэффективности массообмена:

$$E = \frac{M}{N}. \quad (2)$$

Количество переданного вещества из одной фазы в другую:

$$M = K_{oy} F \overline{\Delta y}, \quad (3)$$

где  $K_{oy}$  — коэффициент массопередачи, м/с;  $F$  — поверхность массообмена, м<sup>2</sup>;  $\overline{\Delta y}$  — средняя движущая сила массопередачи (разность рабочей и равновесной концентраций распределяемого компонента);  $y$  — концентрация компонента.

Энергия, необходимая для подачи газа в массообменную колонну:

$$N = \Delta p V_r = \Delta p G / \rho_r, \quad (4)$$

где  $\Delta p$  — перепад давления, Па;  $V_r$  — объемный расход газа в колонне, м<sup>3</sup>/с;  $G$  — массовый расход, кг/с;  $\rho_r$  — плотность газа, кг/м<sup>3</sup>.

С использованием выражений (3) и (4) уравнение (2) примет вид:

$$E = \frac{K_{oy} F \rho_r \overline{\Delta y}}{\Delta p G}. \quad (5)$$

Выражение энергетического коэффициента можно также записать в виде отношений коэффициента теплоотдачи к единице поверхности (коэффициент Ануфьева В. И.), т.е. исключается влияние величины температурного напора:

$$E' = \frac{\alpha}{N/F}, \quad (6)$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $F$  — поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>.

Для процесса массопередачи это выражение запишется в виде

$$E' = \frac{K_{oy}}{N/F}, \quad (7)$$

Рассмотрим применение выражения (7) для оценки массообменно-энергетической эффективности барботажных тарелок, на примере ситчатых, колпачковых и клапанных.

Коэффициент массопередачи  $K_{oy}$  в выражении (7) связан с коэффициентами массоотдачи в жидкой и газовой фазах уравнением аддитивности фазовых сопротивлений.

Рассмотрим процесс абсорбции легкорастворимых газов, когда основное сопротивление сосредоточено в газовой фазе. Например, воздушно-аммиачная смесь и вода.

Выражение (7) с учетом (4) запишем в виде

$$E = \frac{\beta_r F}{N} = \frac{\beta_r F}{\Delta p S_k W_r} = \frac{\beta_f}{\Delta p W_r} \quad (8)$$

где  $\beta_r$  — коэффициент массоотдачи в газовой фазе, м/с;  $S_k$  — площадь поперечного сечения колонны, м<sup>2</sup>;  $W_r$  — средняя скорость газа в колонне, м/с;  $\beta_f = \beta_r F / S_k$  — коэффициент массоотдачи отнесенный к площади тарелки  $S_r$ , м<sup>2</sup> ( $S_r \approx S_k$ ).

Чем больше значение E, тем эффективнее работает тарелка.

Для расчета коэффициентов массоотдачи можно воспользоваться математическими моделями [2,5] или критериальными выражениями [4]. Поскольку математические модели требуют значительного объема вычислений, для известных конструкций контактных устройств используем критериальные выражения Соломахи Г.П. [4]

для ситчатых тарелок:

$$Sh_r = 2,5 Re_r^{0,72} We_r^{-0,25} Sc_r^{0,5} \quad (9)$$

для колпачковых тарелок:

$$Sh_r = 0,265 Re_r^{1,03} We_r^{-0,32} Sc_r^{0,5} \quad (10)$$

для клапанных тарелок:

$$Sh_r = 0,4 Re_r^{1,0} We_r^{-0,27} Sc_r^{0,5} \quad (11)$$

где  $Sh_r = \beta_r \chi / D_r$  — число Шервуда;  $Re_r = w_r \chi / \nu_r$  — число Рейнольдса;  $\chi = \sqrt{\sigma / \rho_{ж} g}$  — капиллярная кон-

станта;  $We = \sigma / h_{ст}^2 \rho_{ж} g$  — число Вебера,  $\sigma$  — поверхностное натяжение, Н/м;  $h_{ст}$  — статический уровень жидкости на контактном устройстве, м;  $Sc_r = \nu_r / D_r$  — число Шмидта. Для аммиак-воздух  $Sc_r \approx 1$ ;  $D_r$  — коэффициент молекулярной диффузии, м<sup>2</sup>/с;  $\nu_r$  — кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с.

Перепад давления находим по формуле

$$\Delta p = \Delta p_{ст} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{сух} \quad (12)$$

где  $\Delta p_{ст} = \rho_{ж} g h_{ст}$ ,  $\Delta p_{\sigma} = \frac{4\sigma}{2d_0}$ ,  $\Delta p_{сух} = \xi \frac{\rho_r W_0^2}{2}$ , для

ситчатых тарелок коэффициент сопротивления  $\xi = 1,8$ ; для колпачковых тарелок  $\xi = 4,5$ ; для клапанных тарелок

при  $\frac{h_{кл}}{d_{кл}} < 0,23$ ,  $\xi = 0,541 \left( \frac{d_{кл}}{h_{кл}} \right)^{1,175}$ , при  $\frac{h_{кл}}{d_{кл}} \geq 0,23$ ,  $\xi = 3,12$ ;

$d_{кл}$  — диаметр отверстия по клапанам.

На рис. 1 представлено сравнение контактных тарелок по значению энергетического коэффициента E. Видно, что наиболее эффективной тарелкой является ситчатая тарелка (кривая 1). Эффективность клапанной тарелки (кривая 3) зависит от массы клапана и примерно близка к эффективности колпачковых.

Естественно, значение коэффициента E является не единственным критерием оценки работы тарелок. Кроме этого тарелки должны обеспечивать заданную эффективность разделения смеси, иметь небольшую стоимость и достаточный срок эксплуатации. Окончательный выбор типа контактных устройств выполняется после технико-экономического анализа.

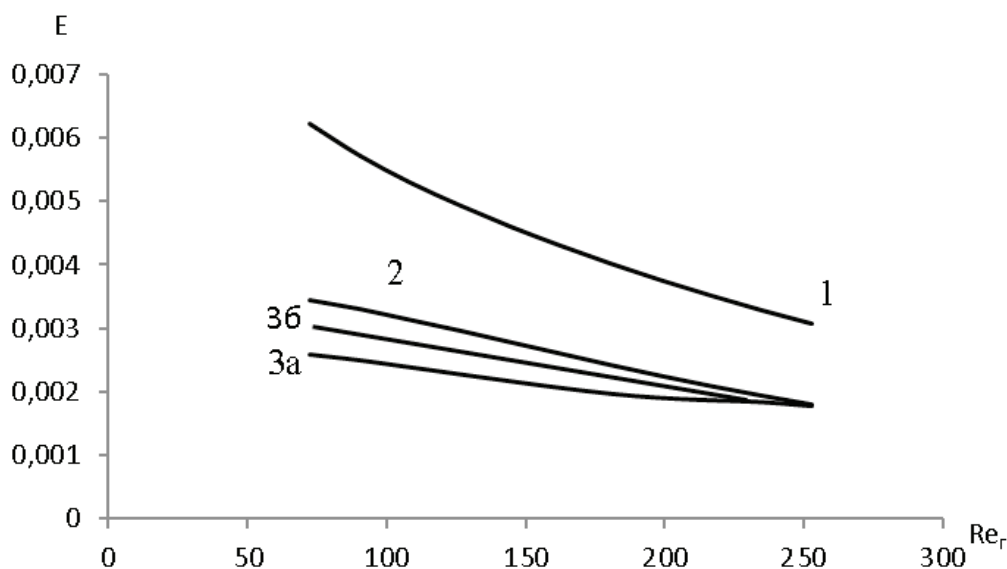


Рис. 1. Зависимость коэффициента E (8) от числа Рейнольдса

1 — ситчатая тарелка; 2 — колпачковая тарелка; 3 — клапанная тарелка;  $h_{ст} = 0,04$ м;  $d_0 = 0,005$ м; 3а — вес клапана 36 гр.; 3б — вес клапана 18 гр.

**Вывод**

Рассмотрен метод оценки совместных тепломассообменных и энергетических характеристик контактных

устройств барботажного типа. Метод применяется авторами при выборе научно-технических решений при модернизации промышленных аппаратов.

## Литература:

1. Башаров, М. М., Лаптев А. Г. Комплексная оценка тепломассообменных и энергетических характеристик контактных устройств // Надежность и безопасность энергетики. 2014. № 4. с. 50–54.
2. Лаптев, А. Г., Минеев Н. Г., Мальковский П. А. Проектирование и модернизация аппаратов разделения в нефте- и газопереработке. — Казань: Печатный двор, 2002. — 250 с.
3. Алексеев, Д. В., Николаев Н. А., Лаптев А. Г. Комплексная очистка стоков промышленных предприятий методом струйной флотации. Казань: Казан. гос. технолог. ун-т, 2005. — 156 с.
4. Александров, И. А. Массопередача при ректификации и абсорбции многокомпонентных смесей. Л., «Химия», 1975. — 320 с.
5. Лаптев, А. Г. Модели пограничного слоя и расчет тепломассообменных процессов. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2007. — 500 с.

## Пример решения инженерной задачи при помощи программы CosmosFloWorks

Лебедева Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент;

Дзюнин Георгий Робертович, студент

Институт судостроения и арктической морской техники (филиал) Северного Арктического федерального университета  
(г. Северодвинск, Архангельская область)

Применение численного моделирования для решения гидродинамических задач в судостроении становится все более распространенным. Широкому использованию методов численной гидродинамики в области судостроения мешают вопросы, связанные с оценкой точности проведенных численных расчетов. Поэтому, нельзя сразу говорить о постановке математического эксперимента полностью заменяющего реальный эксперимент. Но все же, решение некоторых гидродинамических задач, позволяющих прогнозировать результат или измерить некоторые характеристики объектов, когда проведение натурального эксперимента затруднено, становится возможным при помощи проведения численного моделирования.

В данной статье представлены результаты решения инженерной задачи при помощи программы CosmosFloWorks — определение гидродинамических сил и момента [2], действующих на стандартное крыло профиля NASA — 0021 конечного размаха при угле атаки  $\alpha = 20^\circ$ , скорости набегающего потока пресной воды 6 м/с.

Исходные данные: симметричный профиль NASA — 0021, относительное удлинение крыла  $\lambda = 6$ ,  $\delta = 0,21$ , удлинение  $l = 6$  м, крыло прямоугольное в плане. Координаты половины профиля крыла заданы в таблице 1.

Построение объемной модели крыла произведено в SolidWorks [3]. По известным координатам профиля крыла [1] строим точки симметричного профиля и соединяем их сплайном, рис 1. Далее вытягиваем крыло по двум направлениям. Получаем исследуемое крыло профиля NASA — 0021.

В приложении CosmosFloWorks осуществляем запуск мастер-проекта, где указываем основные предварительные характеристики проекта: тип задачи, внешние факторы, расчетную область, вид жидкости и систему координат. Далее назначаются цели расчета (для нашего расчета — это динамическое давление, скорость и все проекции скорости, силы и момент). После определения целей и расчетной области остается задать граничные и начальные условия. В качестве граничных условий — задается реальная стенка — на всех расчетных областях

Таблица 1

<b>X, мм</b>	0	12,5	25	50	75	100	200	250	300	400	500	600	700	800	900	950	1000
<b>Y, мм</b>	0	33,15	45,76	62,21	73,5	81,95	100,4	103,97	105,04	101,56	92,65	79,86	64,12	45,91	25,34	14,12	2,21

крыла. Начальные условия — это скорости потока воды по осям  $x$  и  $y$ . При угле атаки  $20^\circ$ ,  $v_x = 5,64$  м/с,  $v_y = 2,05$  м/с.

По результатам численного расчета получаем: 1) распределения скоростей и давлений, траектории потока,

рис 2. 2) Численные характеристики (цели, заданные на втором этапе задачи), которые выводятся в виде таблиц в Excel, таблица 2. Необходимые величины выделены цветом.

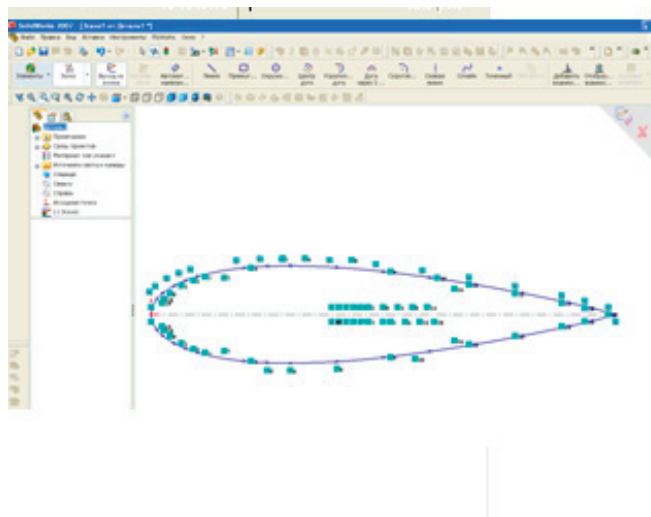


Рис. 1. Основные этапы построения модели

Таблица 2

Goal Name	Unit	Value
GG Средн Динамическое давление 1	[Па]	13301,45427
GG Сила 1	[Н]	97009,45922
GG X — составляющая силы 1	[Н]	-4997,913243
GG Y — составляющая силы 1	[Н]	96880,62779
GG Z — составляющая силы 1	[Н]	-1,019358478
GG Z — составляющая крутящего момента 1	[Н*м]	27381,51077

При проведении математического расчета получили следующие значения: подъемной силы  $R_y = 113,67$ кН, лобового сопротивления  $R_x = 15,99$ кН, момента  $M_z = 27,9$ кНм.

Проводим расчет основных гидродинамических коэффициентов по формулам (1), (2) и (3), где

$$p_{дин} = \frac{\rho V^2}{2} = \frac{998 * 6^2}{2} = 17,8 \text{ кПа}$$

$$C_x = \frac{R_x}{p_{дин} S} = \frac{15999}{17,8 * 10^3 * 6} = 0,15 \quad (1)$$

$$C_y = \frac{R_y}{p_{дин} S} = \frac{113669}{17,8 * 10^3 * 6} = 1,05 \quad (2)$$

$$C_m = \frac{M_z}{p_{дин} S b} = \frac{27906}{17,8 * 10^3 * 6 * 1} = 0,26 \quad (3)$$

Сравниваем полученные коэффициенты с данными кривых продувок заданного профиля при  $\alpha = 20^\circ$ . Определяем погрешность расчета.

Результатом проведения численного эксперимента стало получение основных гидродинамических характеристик профиля NACA-0021 при угле атаки  $20^\circ$ . Вывод на

Таблица 3

Коэффициенты	Математический эксперимент	Кривые продувок	Погрешность, %
Коэффициент лобового сопротивления	0,15	0,14	7
Коэффициент подъемной силы	1,05	1,37	23
Коэффициент момента	0,26	0,3	13

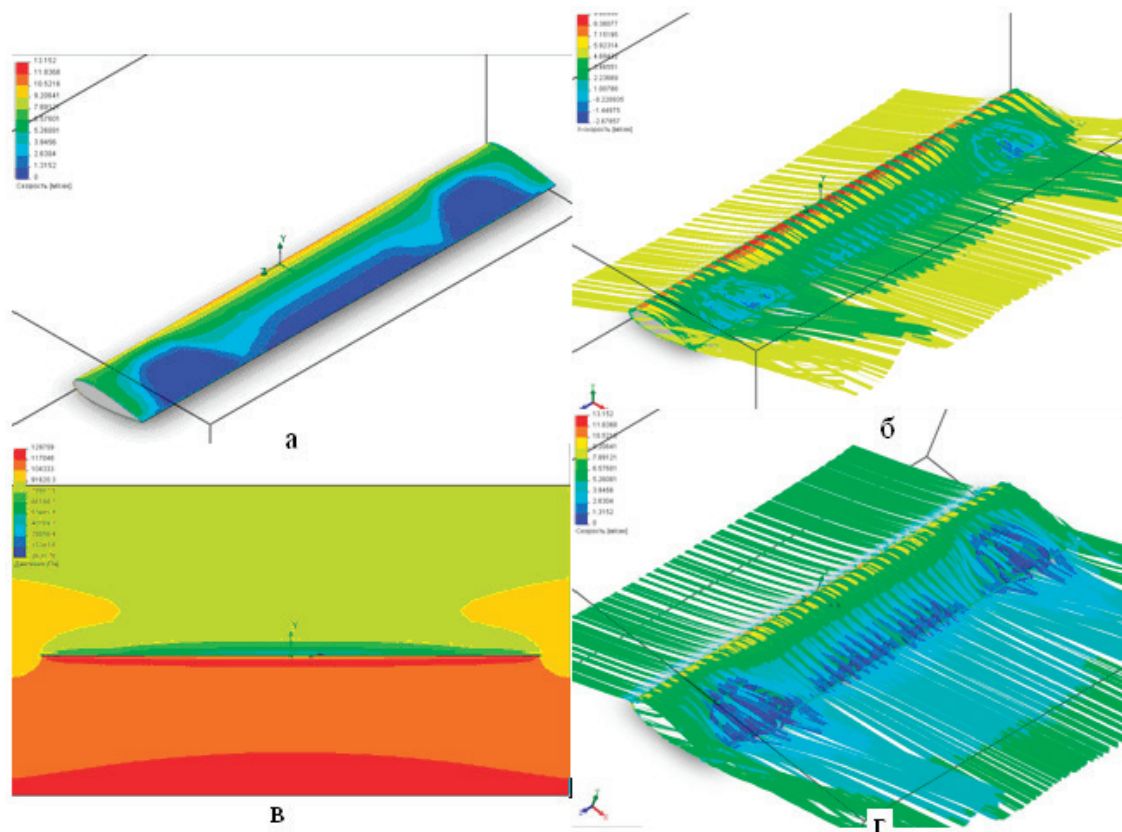


Рис. 2. а) Распределение скоростей по верхней поверхности крыла; б) X-скорости потока при обтекании крыла; в) Распределение давлений при обтекании крыла потоком; г) Обтекание потоком крыла

экран основных гидродинамических характеристик крыла представлен в таблице 2.

Необходимо заметить, что при построении трехмерной модели в SolidWorks можно получить все чертежи объекта в необходимых сечениях и проекциях.

По результатам расчета были также получены распределения давления и скоростей, характеризующее обтекание профиля в целом, рис 2б, г. При изучении поля скоростей и давлений отмечены зоны повышенного вихреобразования и замечены области повышенного и пониженного давлений, рис 2в.

Литература:

1. Атлас аэродинамических характеристик Крыловых профилей. Кашафутдинов С.Т., Лушин В.Н., Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А. Чаплыгина, 1994. — 46с.
2. Гидромеханика. Войткунский Я.И., Фадеев Ю.И., Федяевский К.К. Л.: Судостроение, 1982. — 450с.
3. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. Алямовский А.А. и др., СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 800с.

## Pressure forming mining tool in adaptive cutting

Лемешко Михаил Александрович, кандидат технических наук, доцент;

Волков Родион Юрьевич, аспирант;

Дмитриенко Надежда Алексеевна, кандидат педагогических наук, доцент  
Донской государственный технический университет, филиал в г. Шахты (Ростовская область)

*В статье рассмотрен процесс разрушения твёрдых материала (горной породы) резовым инструментом на различных стадиях стружкообразования (отделения элементов резами) для условий адаптивного процесса резания. Сам процесс резания твёрдых материалов (горных пород) разделен на стадии, что позволяет более тщательно исследовать процесс взаимодействия реза с разрушаемым материалом.*



*Ключевые слова:* адаптивный процесс; процесс резания; контактная прочность; разрушение материала; бурильная машина.

Lemeshko Mikhail Alexandrovich

Volkov Rodion Yuryevich

Dmitrienko Nadezhda Alekseevna, a candidate of pedagogy, an Associate professor

Institute of business and service (branch) Don state Technical University

For mining and tunnel mining machines usually mining tool is used, which is considered to be a key element of mining machines' executive body.

In rotary drilling, a drilling process is accompanied by interaction of the cutting material with a drilling capacity and cutting tool of a drilling machine is also an important component of the executive body.

The interaction of the cutting tool with the rock or other destructive material is characterized by loads on the cutting tool itself and the executive body of the machine.

Obviously, these loads must not destroy a mining cutting tool, but to ensure the effective destruction of the slaughter or destruction of an object (cutting).

It is known [1] that the load of the tool depends on:

- physical — mechanical characteristics of the material being destroyed;
- design and geometry of the cutting tool;
- the control method the cutting process.

Let us consider the process of cutting in adaptive management.

In adaptive interaction of cutting tool with any breakable material we mean a process of cutting as a relation among feeding and cutting when the energy supplied to the tool are self disposed inter perpendicular between components and it can determine the rock cutting as a component cut  $P_z$  and component supply  $P_y$  [1]. It is understood that the tool moves toward the component  $p_z$ , and is mechanically limited by other movements, except micro moving resulting backlash, bending holder, rigid support and guide.

Take a simplified working model of such interaction. As it is shown in Fig. 1.

For the analysis of the adaptive process a cutting time can be valued in the following way [1, 2].

1. The process of cutting rocks is accompanied by separation of elements in the array under the influence of the front face (surface) of the tool and the implementation of specific effects of crushing pressure from the back edge of the cutter.

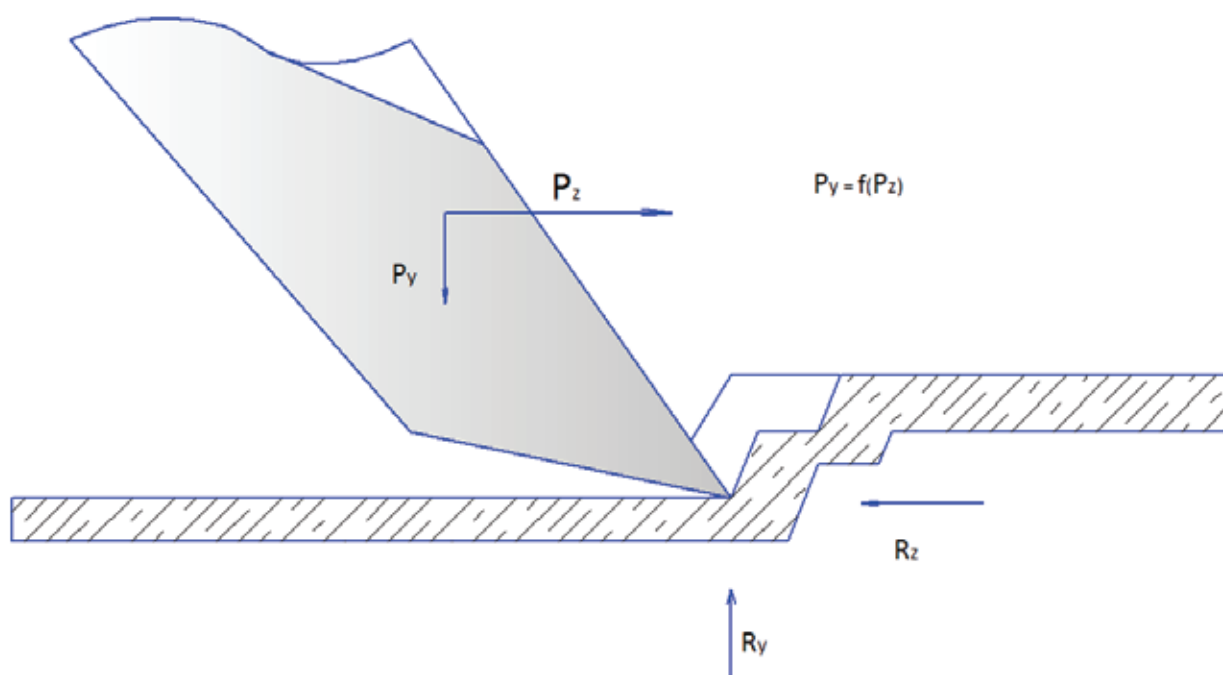


Fig. 1. The model of adaptive cutting process

2. When moving the tool along the cutting line, the separation of elements is occurred periodically and is usually preceded by a separation of a large element.

3. On the front face, especially in Ryazan having great depth of the chip seal forming the core particles of the crushed material.

4. The size and shape for separating elements depends on the conformity of cutting parameters its material characteristics and performance efficiency of the cutting tool.

5. The cutting process is characterized by the energy dissipation, the ability to deforming, its crushing and grinding disperse.

These features of the incisive destruction of materials, are characterized by its energy performance [3]. Minimizing the dissipation of energy input — it is the direction of optimum cutting conditions [4].

Even coal and other breeds could be anisotropic and orthotropic objects of destruction, the process of frequency chips can show a change in the ratio of  $Z \setminus Y$ , because material cutter with variable depth can be damaged. After having a cleavage of a large height to the front edge of the material can be reduced to zero at times. As the promotion of prescribed material is crushed and then separated to larger items. The frequency and alternating small and large chips for cutting rocks are random.

To describe adaptive cutting process, we can consider the phase failure  $P$  at various stages of separate elements:

Stage 1. Under the influence of the forces applied to the tool and its position in the cutting direction, can destroy material at voluminous voltage. The shape and intensity in static and in homogeneity the material is determined by the material and varying its deformability in the principal directions can be investigated in  $Z$  and  $Y$ , coinciding with the lines of respective components. As it is known [1], clapping, fracturing, fracture resistance by compression of separate real rocks to have a random orientation and is manifested in directions where  $Z$  and  $Y$  are different.

In the feed direction, the  $Y$ -axis cutter action can be described in half-flooded, and resistance of indentation is determined by the elastic — plastic properties (along the axis  $Y$ ) and resistance to compression (along the axis  $Y$ ) in other area. The physical processes characterizing the interaction tool and breed are studied for the power cut and forming the basic indicators of destruction strength of rocks. To demonstrate «contact strength» hardness is widely used to assess the strength properties of rocks. Feed force  $y$  may be expressed as:

$$Y = f_1(P_k^y, \mu^y, E^y, F^y), \quad (1)$$

where  $P_k^y, \mu^y, E^y, F^y$  — is a contact strength, modulus of elasticity, modulus of deformability, the projection area of a blunt tool in a plane perpendicular to the axis  $Y$ , respectively. The index at the given match performance in the direction of the axis is  $Y$ .

When cutting force and volume resistivity of the deformed material below the floor heating is largely determined by the size of the pad, the contact strength of the materials and does not depend on the angle of the front cutting edge angle (when the relief angle is constant) and as to a minor extent it is dependent on the clearance angle.

With adaptive cutting this specific pressure and deformation under the platform of cutting depends on optical phenomena can occur on the tool rake face. Indeed, for the condition  $P_z = P_y$ .

Tension on the front face is oriented depending on the rake angle of cutting tensile strength and shear of elastic — plastic properties of the erodible material in a direction perpendicular to the front face.

Therefore, the force of resistance to movement of the cutter in the direction of the front face can be represented by a functional connection

$$Z^1 = f_2(\delta, C_p^{zy}, \tau^{zy}, \mu^z, E^z) \quad (2)$$

Or taking into account the friction resistance on the back side cutter

$$Z = f_2(\delta, C_p^{zy}, \tau^{zy}, \mu^z, E^z) + f_3(Y) \quad (3)$$

A crucial factor is in the forming load on the front face and a phenomenon of separation. In the works by Professor EZ Pozina, Professor VI Soloda [4] This physical phenomenon got a special attention. It is the implementation of this type of damage determines the rate cut.

These factors interact in the given phase of the cutter to destroy the material on the back side, and the terms of the destruction to the front face of a moment is in equilibrium.

With adaptive cutting this equilibrium can be described by the following fundamental relationship  $Z^1 = Y^1$

$$Y = f_1(P_k^y, \mu^y, E^y, F^y) = f_2(\delta, C_p^{zy}, \tau^{zy}, \mu^z, E^z) + f_3(Y) \quad (4)$$

Where  $Z_1, Y_1$  — are the instantaneous values of the components of the cutting force  $P_z$  and feed  $P_y$ .

Stage 2: Move the direction of the cutting tool is crushing to the edge of the cutting edge, under the platform of bluntness, and perceives the resistant element of separating front edge material.

For all back faces of the tool, the side (if they come into contact) of the front — can see frictional resistance.

If the direction of the cutter movement can be close to critical for the separation (separation) of the element of the breed: elastic-plastic deformation of the maximum, the volumetric strain of the material in front edge is formed, the tensile stress  $\sigma$  shear stress  $\tau$  is close to the limit. At the same time the direction of flow resistance force can form on the axis Y.

Further micro moving tool leads to a discontinuous process (phase 3), is described by three states:

$$A) f_1(P_k^y, \mu^y, E^y, F^y) > f_2(\delta, [\sigma_p^{zy}], [\tau^{zy}], \mu^z, E^z) + f_3(Y) \quad (5)$$

$$B) f_1(P_k^y, \mu^y, E^y, F^y) < f_2(\delta, [\sigma_p^{zy}], [\tau^{zy}], \mu^z, E^z) + f_3(Y) \quad (6)$$

$$C) f_1(P_k^y, \mu^y, E^y, F^y) = f_2(\delta, [\sigma_p^{zy}], [\tau^{zy}], \mu^z, E^z) + f_3(Y) \quad (7)$$

Stage 3. The first state (A) meets the following physical phenomena in the destruction: the total manifestation of strength quality  $[\sigma_{сж}], [\tau], [\sigma_p]$ , elastic — plastic deformations, the geometry of the tool and the friction forces were the result of the excess of the tensile strength of the front face of individual elements of destruction, while the contact pressure at a given point of a material, beneath the rear face of the tool that has not exceeded the limit value of the contact resistance.

The second state (B) is characterized by excess specific pressure under the rear of the tool face contact strength degradable material. Cutter makes micro moving-axis Y, of blunt material lifting platform. This will be accompanied by an increase in micro moving wishing deformation fake to face with increasing values of the functions  $f_1$ .

The third state (C) corresponds to the approach of the limit value for the front face and for the back side at the same time. Before the front edge peeling process occurs simultaneously with micro moving material in the feed direction, the magnitude of it may be more or less dependent on the functions  $f_1$ , of a specific point of destruction.

Thus, the difference in fracture mechanics of classical incisive way of destruction the adaptive contrast involves cutting optimality of conditions of these kinds of cutting tool interaction to breakable material and the need for profound in-depth study of adaptive process of cutting.

#### References:

1. Резание угля // А.И. Берон, Е.З. Позин, В.А. Казанский и др. — М: Госготехиздат, 1962. — 364 с.
2. Адаптивное управление процессом резания гонных пород. Лемешко М.А. монография / М.А. Лемешко; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Южно-Российский гос. ун-т экономики и сервиса» (ГОУ ВПО «ЮРГУЭС»). Шахты, 2010, 67с.
3. Первов К.М. Об энергетическом показателе для оценки качества горных машин // Повышение качества горного оборудования. — М.; МГИ, 1988, — с. 57–60.
4. Некоторые новые закономерности процесса разрушения твёрдых материалов // В.И. Солод и др. — Сб. науч. трудов МГИ, 1974. — с. 4–18.
5. Солод В.И., Первов К.М. Некоторые новые закономерности процесса разрушения твёрдых материалов // Научные основы создания высокопроизводительных комплексов механизированных шахт. — М.: МГИ, 1974. — с. 4–18.
6. Лемешко М.А., Волков Р.Ю. Использование метода электрогидравлической аналогии для моделирования работы адаптивной бурильной машины // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2014. № 3 (29). с. 62–65.
7. Лемешко М.А., Волков Р.Ю. Метод адаптивного процесса резания горных пород Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014, с. 46–50

### Влияние степени рециркуляции на характеристики процесса сгорания тракторного газодизеля

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Показатели процесса сгорания газодизеля 4Ч 11,0/12,5 на установочных углах опережения впрыскивания топлива (УОВТ) 23 и 26° и частоте вращения

2200 мин<sup>-1</sup> в зависимости от изменения степени рециркуляции отработавших газов (РОГ) представлены на рис. 1 [1–7].

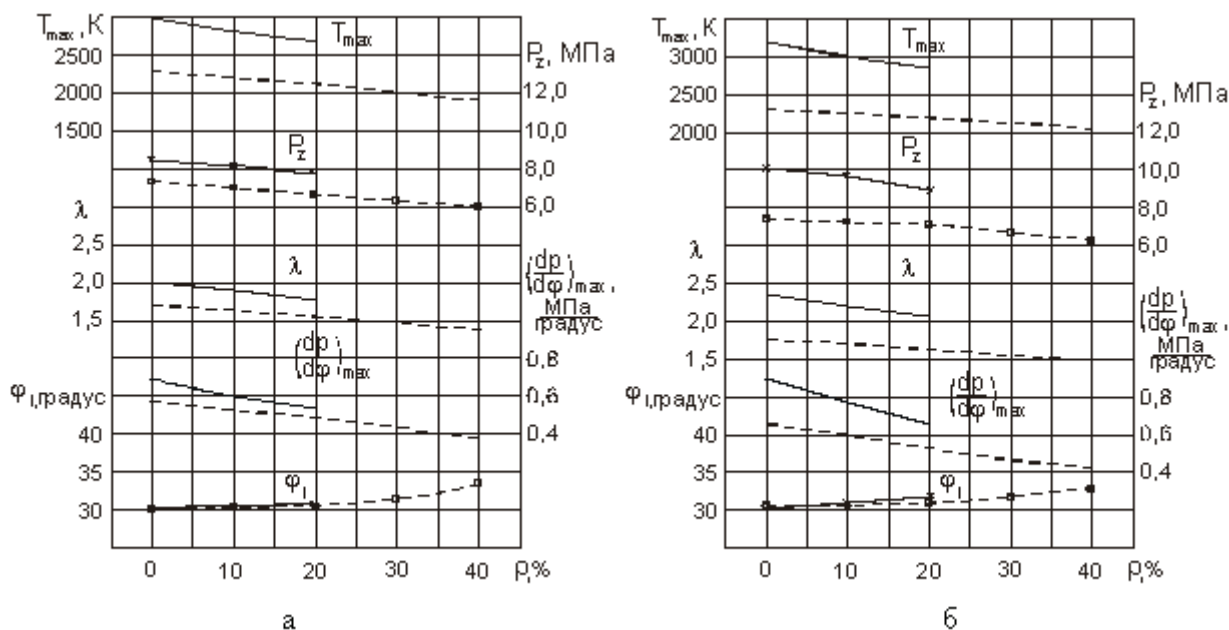


Рис. 1. Показатели процесса сгорания газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения степени РОГ при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ : а —  $\theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ ; б —  $\theta_{\text{впр}} = 26^\circ$ ;  $\times$  —  $p_e = 0,63 \text{ МПа}$ ;  $\square$  —  $p_e = 0,51 \text{ МПа}$

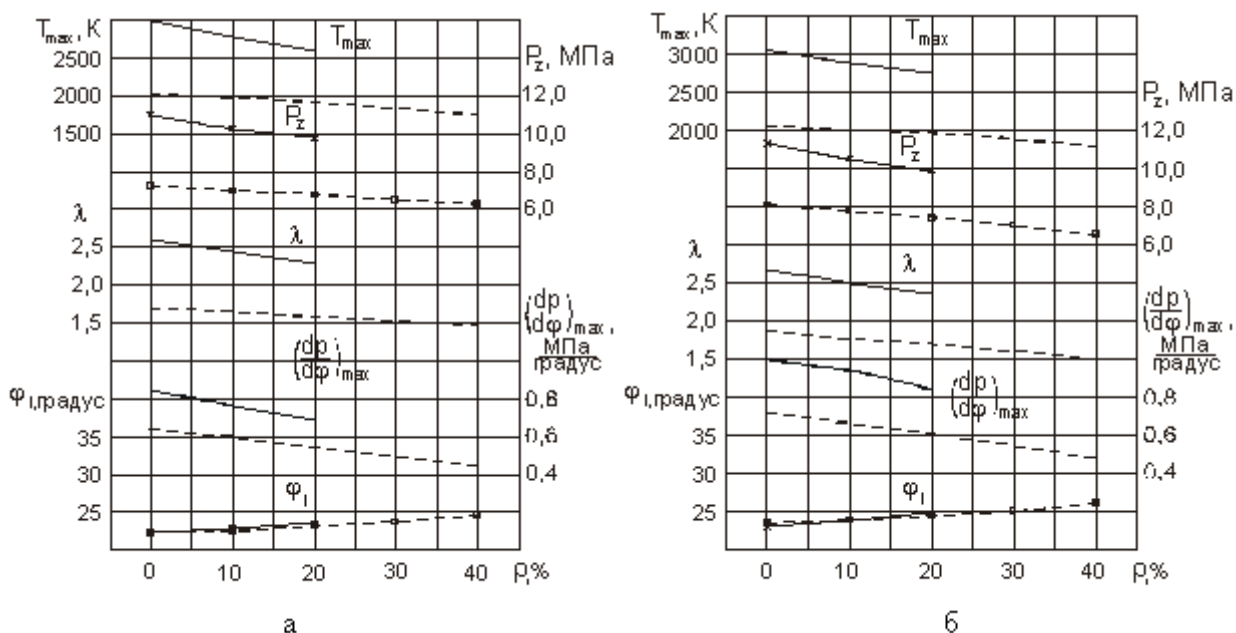


Рис. 2. Показатели процесса сгорания газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения степени РОГ при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ : а —  $\theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ ; б —  $\theta_{\text{впр}} = 26^\circ$ ;  $\times$  —  $p_e = 0,69 \text{ МПа}$ ;  $\square$  —  $p_e = 0,51 \text{ МПа}$

Из графиков видно, что с увеличением степени РОГ происходит снижение максимальной температуры цикла, максимального давления газов, степени повышения давления, жесткости процесса сгорания и увеличение угла, соответствующего периоду задержки воспламенения [8–15]. Так, применение 40%-ной РОГ при  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  и  $p_c = 0,51$  МПа приводит к снижению максимальной температуры цикла на  $400^\circ\text{C}$ , максимального давления газов и степени повышения давления на 19,2%, жесткости процесса сгорания на 34,5% и повышение угла, соответствующего периоду задержки воспламенения, на  $3,5^\circ$  поворота коленчатого вала [16–25].

Показатели процесса сгорания газодизеля 4Ч 11,0/12,5 на установочных УОВТ 23 и  $26^\circ$  и частоте вращения  $1700 \text{ мин}^{-1}$  в зависимости от изменения степени РОГ представлены на рис. 2 [26–31].

Из графиков видно, что закономерности изменения кривых показателей процесса сгорания при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$  аналогичны закономерностям при частоте вращения  $2200 \text{ мин}^{-1}$ , различны лишь их абсолютные значения.

Проведенные экспериментальные исследования показывают постоянство характеристик процесса сгорания дизеля при работе на природном газе с РОГ.

#### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
8. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
9. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
10. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
11. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
12. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
13. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
14. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
15. Анфилатов, А. А. Особенности экспериментальной установки для исследования рабочего процесса дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 223–226.
16. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
17. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
18. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.



19. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.
20. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
21. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
23. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от установочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
24. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
25. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
26. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
27. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
28. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
29. Скрябин, М. Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
30. Скрябин, М. Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
31. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
32. Скрябин, М. Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.

## **Влияние степени рециркуляции на характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре тракторного газодизеля**

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5 на установочных углах опережения впрыскивания топлива (УОВТ) 23 и 26° и частоте вращения 2200 мин<sup>-1</sup> в зависимости от изменения степени рециркуляции отработавших газов (РОГ) представлены на рис. 1 [1–8].

Из графиков следует, что с увеличением степени РОГ происходит снижение содержания оксидов азота в цилиндре двигателя, активного тепловыделения при максимальной температуре цикла, при максимальном давлении газов и скорости активного тепловыделения, увеличение угла при максимальной температуре цикла [9–16].

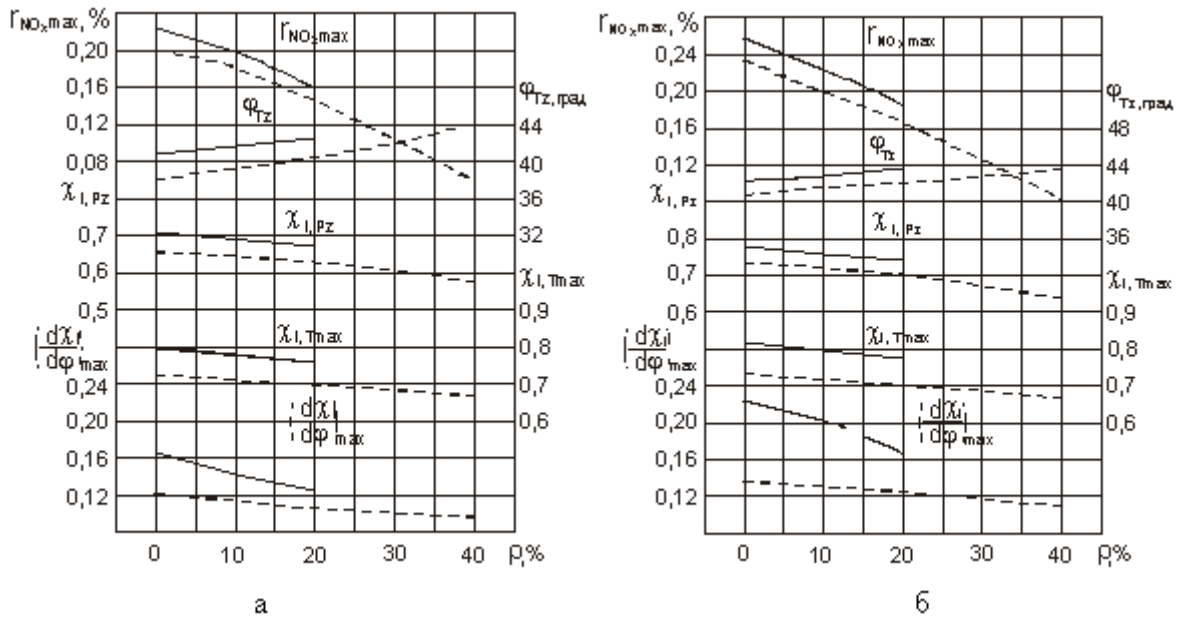


Рис. 1. Характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения степени РОГ при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ : а —  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ ; б —  $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$ ; — — — —  $p_e = 0,63 \text{ МПа}$ ; - - - - -  $p_e = 0,51 \text{ МПа}$

Так, при работе с 40%-ной РОГ при  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  и  $p_e = 0,51 \text{ МПа}$  происходит снижение содержания оксидов азота в цилиндре на 70,0%, активного тепловыделения при максимальном давлении газов на 12,6%, активного тепловыделения при максимальной температуре цикла на 6,9%, скорости активного тепловыделения на 18,0%, увеличение угла при максимальной температуре цикла на  $6^\circ$  поворота коленчатого вала [17–25].

Характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре тракторного газодизеля 4Ч 11,0/12,5 на установочных УОВТ 23 и  $26^\circ$  и частоте вращения  $1700 \text{ мин}^{-1}$  в зависимости от изменения степени РОГ представлены на рис. 2. Из графиков видно, что характер протекания кривых при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$  сохраняется [26–31].

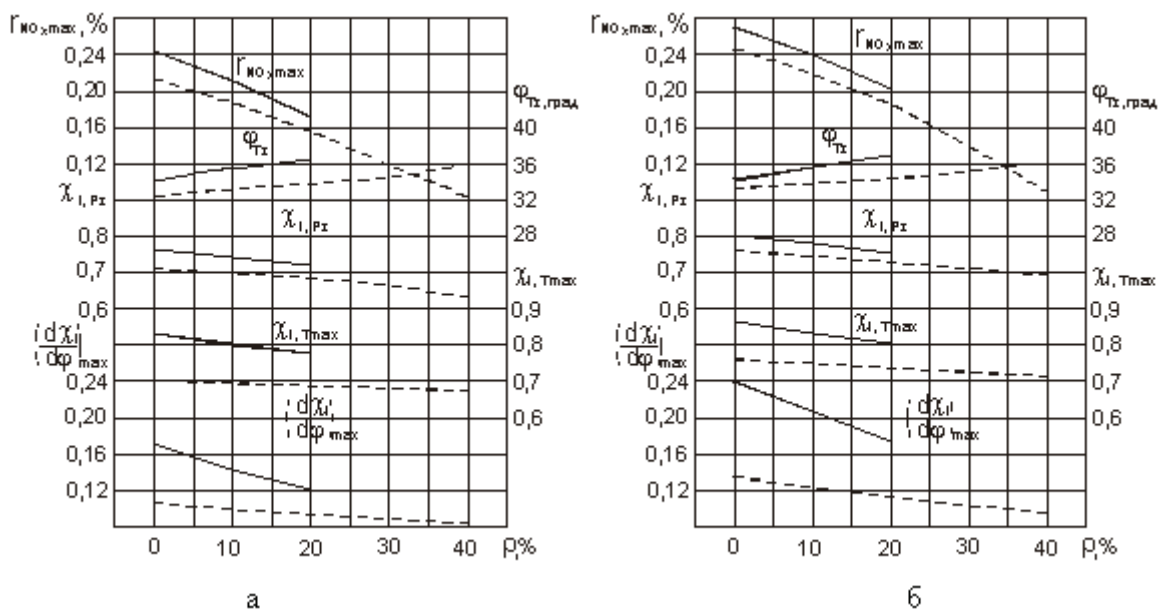


Рис. 2. Характеристики тепловыделения и содержание оксидов азота в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения степени РОГ при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ : а —  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ ; б —  $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$ ; — — — —  $p_e = 0,69 \text{ МПа}$ ; - - - - -  $p_e = 0,51 \text{ МПа}$

Проведенные экспериментальные исследования убедительно доказывают возможность улучшения экологических показателей и снижение наиболее токсичного компонента ОГ — оксидов азота дизелей путем применения природного газа.

#### Литература:

1. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
2. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
3. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
5. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
6. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
7. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
8. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
9. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
10. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
11. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
12. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
13. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
14. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
15. Анфилатов, А. А. Особенности экспериментальной установки для исследования рабочего процесса дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 223–226.
16. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
17. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
18. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
19. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.
20. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
21. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
22. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
23. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на содержание токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на номинальной частоте вращения в зависимости от устано-

- вочного угла опережения впрыскивания топлива // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 101–104.
24. Лопатин, С. О., Скрябин М. Л. Влияние применения метано-топливной эмульсии на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2014. с. 96–98.
  25. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
  26. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
  27. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
  28. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
  29. Скрябин, М. Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
  30. Скрябин, М. Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
  31. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
  32. Скрябин, М. Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.

## Химизм процесса электролизного осаждения поливалентных металлов из водных систем

Мишурина Ольга Алексеевна, доцент, кандидат технических наук;  
Муллина Эльвира Ринатовна, доцент, кандидат технических наук  
Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова

*В статье рассматривается метод электрохимического извлечения марганца из водных растворов. Суть метода заключается в электрообработке хлоридсодержащих растворов, при этом образуется молекулярный хлор, который взаимодействуя с водой, образует активные формы хлорсодержащих окислителей. Далее, при контакте окислителя с ионами марганца протекает процесс его осаждения в виде дисперсной фазы.*

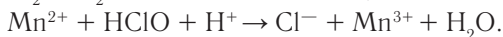
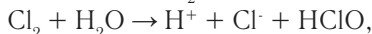
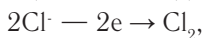
**Ключевые слова:** *растворы, марганец, осаждение, параметры, процесс.*

**А**нализ существующих методов извлечения Mn (II) из техногенных водоемов показал, учитывая при высоких концентрациях хлорид-ионов в растворе (более 600 мг/дм<sup>3</sup>), наиболее рационально извлекать марганец путем перевода ионов Mn<sup>2+</sup> под действием окислителя — «активного хлора» — в нерастворимые формы

Mn<sup>3+</sup> и Mn<sup>4+</sup> и последующего извлечения скоагулированного осадка электрофлотационным способом.

Сущность применяемого метода заключается в следующем: при электрообработке хлоридсодержащих растворов, образуется молекулярный хлор, который взаимодействуя с водой, образует активные формы хлор-

содержащих окислителей, так называемый «активный хлор» [8, 13]. Далее, при контакте «активного хлора» с ионами  $Mn^{2+}$  протекает окислительно-восстановительный процесс в ходе, которого двухвалентный марганец окисляется до нерастворимых форм  $Mn^{3+}$  и  $Mn^{4+}$ :



Анализ опыта использования «активного хлора» в качестве окислителя при окислении переходных металлов показал, что окислительно-восстановительный процесс протекает под действием атомарного кислорода, образующегося при восстановлении «активного хлора» ионами  $Mn^{2+}$ . Причем ионы  $Mn^{2+}$  в окислительной системе выступают не только как восстановители, но и как катализаторы процесса, что значительно ускоряет время протекания реакции [9, 12]:



Выбор электрофлотационного метода для извлечения образующегося марганецсодержащего осадка обусловлен отличительными особенностями извлекаемых катионов марганца, а именно: хрупкостью коллоидных хлопьев марганца, способностью к передиспергированию при интенсивном перемешивании суспензии, необходимостью проведения флотации при низкой скорости газового потока [1, 2, 6, 14]. С этой точки зрения электрофлотационный процесс, отличающийся высокой степенью дисперсности выделяющихся пузырьков, отсутствием в аппаратах движущихся частей, а так же возможностью плавного регулирования скорости изменения степени насыщения пульпы газовыми пузырьками, имеет явные преимущества по сравнению с другими флотационными методами извлечения металлсодержащих осадков [3, 10]. Кроме того, сочетание процессов осаждения — флотация позволяет достигать высоких показателей извлечения  $Mn$  из растворов в виде продукции [7, 8].

В первой камере аппарата протекает процесс окисления  $Mn^{2+}$  в  $Mn^{3+}$  и  $Mn^{4+}$  и последующего электрокоагуляционного осаждения соединений марганца. Во второй камере аппарата осуществляли процесс электрофлотационного извлечения дисперсной фазы марганца из водных растворов.

При проведении исследований было установлено, что в первой камере аппарата полное извлечение ионов  $Mn^{2+}$  из раствора в процессе окислительного осаждения наблюдается в интервале рН системы от 4,5 до 10,5. Однако следует учесть, что при электролизе хлоридсодержащих растворов на аноде возможно образование несколько активных формы хлорсодержащих окислителей:  $Cl_2$ ,  $HClO$ ,  $ClO^-$ , окислительная активность которых будет зависеть от рН растворов. Максимальная окислительная активность характерна для хлорноватистой кислоты ( $HClO$ ), накопление которой наблюдается в диапазоне рН 3,5–7,5, т.е. в слабокислой и нейтральной областях [13]. Следовательно, исходя из интервала рН, при котором воз-

можно образование дисперсной фазы марганца, а так же учитывая окислительную активность, образующихся хлорсодержащих соединений процесс окислительного осаждения  $Mn$  (II) рекомендуется осуществлять в диапазоне рН от 4,5 до 7,5.

При исследовании кинетики протекания процесса окислительного осаждения ионов  $Mn^{2+}$  были рассмотрены два способа контакта окислителя с марганецсодержащим раствором — электрокоагуляционный и реагентный. В случае реагентного осаждения  $Mn$  (II) раствор окислителя предварительно получали в электролизере путем электрообработки растворов  $NaCl$ , и далее полученный раствор «активного хлора» вводили в водную систему, содержащую ионы  $Mn^{2+}$ . В случае электрокоагуляционного осаждения  $Mn$  (II) в раствор, содержащий ионы  $Mn^{2+}$ , предварительно вводили хлорид-ионы в виде раствора  $NaCl$  и затем проводили электролиз всей системы (при аналогичных первому случаю параметрах работы электролизера).

Полученные кинетические зависимости показали, что максимальное извлечение марганца в виде дисперсной фазы в случае реагентного осаждения наблюдаются после 5 минут, тогда как в случае электрокоагуляции после 1 минуты. То есть при электрокоагуляционном извлечении скорость протекания процесса возрастет в 5 раз.

Данный факт объясняется тем, что в случае электрокоагуляционного извлечения  $Mn$  (II) окислительно-восстановительный процесс протекает при участии суммы окислителей таких как  $HClO$ ,  $O \cdot$ ,  $ClO \cdot$ ,  $Cl \cdot$ ,  $OH \cdot$ ,  $H \cdot$ , которые из-за своей термодинамической неустойчивости мгновенно вступают в реакцию с ионами  $Mn^{2+}$ , что в итоге приводит к значительному сокращению времени протекания процесса [4, 5]. Кроме того, в данном случае процесс окисления протекает во всем объеме обрабатываемого раствора, причем, выделяющиеся на электродах пузырьки газа способствуют равномерному распределению окислителя по всему объему реакционной смеси без использования перемешивающих устройств, что значительно интенсифицирует процесс окисления.

При этом, электрообработка образующейся коллоидной системы интенсифицирует коагуляционный процесс [4]. Так, в ходе выполнения экспериментов отмечено, что начало образования четкой верхней границы слоя осадка в случае реагентного осаждения  $Mn$  (II) электролизными растворами «активного хлора» наблюдается после 18 минут с момента начала хлопьеобразования, тогда как при электрокоагуляционном осаждении это отмечалось уже после 1,5 минут. Таким образом, полученные результаты показали, что электрокоагуляционный способ извлечения  $Mn$  (II) является более приоритетным по сравнению с реагентным.

Экспериментальные исследования оптимальных параметров работы электролизера при электрокоагуляционном извлечении  $Mn$  (II) позволили установить, что процесс электрокоагуляции в диапазоне рН 4,5–7,5 при



электрообработке в течении 1 минуты более рационально проводить при концентрации ионов  $Cl^-$  в растворе не менее  $600 \text{ мг/дм}^3$  и плотности тока на анодах  $300 \text{ А/м}^2$ .

Экспериментальные исследования процесса электрофлотационного извлечения дисперсной фазы  $Mn$  (III, IV), протекающего во второй камере аппарата, показали что, максимальное извлечение осадка из растворов (до  $98,9\%$ )

наблюдаются в интервале рН  $4,5-8,0$ . Оценка влияния на процесс флотации токовой нагрузки подаваемой на электроды, показала, что в диапазоне плотностей тока на катодах ( $I_{с\kappa}$ )  $80-100 \text{ А/м}^2$  после десяти минут проведения процесса электрофлотации наблюдается максимальное извлечение дисперсной фазы марганца —  $98,9\%$  (рис. 1) [2].

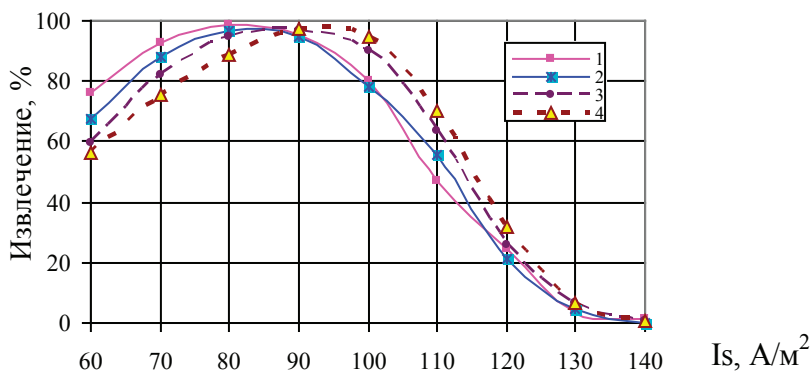


Рис. 1. Извлечение дисперсной фазы марганца из растворов, при разных концентрациях  $Mn$  (II): 1 —  $C_{исх} Mn^{2+} = 50 \text{ мг/дм}^3$ ; 2 —  $C_{исх} Mn^{2+} = 100 \text{ мг/дм}^3$ ; 3 —  $C_{исх} Mn^{2+} = 150 \text{ мг/дм}^3$ ; 4 —  $C_{исх} Mn^{2+} = 200 \text{ мг/дм}^3$

Таким образом, проведенные исследования позволили установить технологические параметры извлечения  $Mn$  (II) из техногенных водоемов в виде кондиционного сырья:

– первая камера аппарата (процесс электрокоагуляции): рН =  $4,5-7,5$ ,  $t = 1 \text{ мин.}$ ,  $C_{Cl^-}$  более  $600 \text{ мг/дм}^3$ ;

– вторая камера аппарата (процесс электрофлотации): рН  $5,5-7,5$ , времени флотации 10 минут, плотности тока на катодах  $80-100 \text{ А/м}^2$ .

Литература:

- Ильин, В. И. Электрохимическая очистка сточных вод с водооборотом // Современные технологии и оборудование, 2005, № 12. — с. 62–64.
- Колесников, В. А. Электрофлотационный способ очистки сточных вод гальванических производств. ВСТ: Вод. и сан. техн. — Naustech, 1997, № 8. — с. 10–11.
- Краснобородько И.Г., Яковлев С. В. Технология электрохимической очистки воды. — Л.: Стройиздат, Ленингр. Отд-е, 1987. — 312 с.
- Лавров, И. С. Влияние внешнего электрического поля на эффект электрофлотации // Жур. прикл. химии, 1977, Т. 50, № 10. — с. 2252–2256.
- Мапнев, А. И. Очистка сточных вод флотацией. — Киев: Будивельник, 1976. — 132 с.
- Матов, Б. Электрофлотация. Кишнев: Картя Молдовескэ, 1971. — 184 с.
- Мишурина, О. А. Электрофлотационное извлечение марганца из гидротехногенных ресурсов горных предприятий // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2009. № 3. с. 72–74.
- Мишурина, О. А. Технология электрофлотационного извлечения марганца в комплексной переработке гидротехногенных георесурсов медноколчеданных месторождений. — автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук // Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова. Магнитогорск, 2010.
- Мишурина, О. А., Муллина Э. Р. Химические закономерности процесса селективного извлечения марганца из техногенных вод // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2012, № 3. с. 58–62.
- Мишурина, О. А., Муллина Э. Р. Технология электрохимической очистки сточных вод // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 4–1. с. 29–31.
- Мишурина, О. А., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р. Особенности химических способов извлечения марганца из технических растворов // Молодой учёный. — 2013. — № 5. — С.84–86.

12. Мишурина, О. А., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р. Деманганизация сточных вод растворами хлорной извести // Альманах современной науки и образования. — 2013. — № 9 (76). — С. 115–118.
13. Мишурина, О. А., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р. Химические превращения кислородсодержащих ионов хлора растворов при разных значениях диапазона рН // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 2–2. с. 43–46.
14. Назарова, Г. Н., Костина Л. В., Алексеева Р. К. К вопросу об очистке сточных вод электрофлотационным способом. // Сб. трудов ИОТТ «Проблемы обогащения твердых горючих ископаемых», 1972. Т. 1, вып. 2. — М. — с. 19–29.

## Анализ эффективности гидрофобизации бумажной упаковки модифицированными формами крахмала

Пинчукова Ксения Владимировна, студент;

Корниенко Наталья Дмитриевна, студент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова

*В статье представлен анализ гидрофобизирующих форм модифицированного крахмала, используемого в производстве бумажной упаковки. Рассмотрены способы модификации крахмала. Проанализирован химический состав крахмалопродуктов и его влияние на сорбционные и прочностные характеристики бумажной упаковки.*

**Ключевые слова:** бумага, гидрофобизирующие материалы, модифицированный крахмал, химический состав, свойства.

Российский рынок бумаги и картона динамично развивается, но потребности в производстве влагостойкой упаковки достаточно велики. Эти виды включают бумажные мешки, носимые сумки, виды картона для упаковки молочных продуктов, обёртку для замораживаемых продуктов, обёртку для мяса и подносы для фруктов. Однако, что касается влагопрочного картона, то практики его производства в России практически нет. А потребности рынка огромные: упаковка для замороженных продуктов, полуфабрикатов, рыбы, охлажденного мяса, птицы, транспортировка и хранение овощей и фруктов при относительной влажности 85–95%, хранение промышленной продукции в холодных складах, в том числе открытых, в условиях перепада температур, повышенной влажности и конденсата [7, 9, 10].

Наиболее эффективным способом решения вопроса влагопрочности является проклейка в массу на бумагоделательной или картоноделательной машине, когда вещества вводятся в бумажную массу. Проклейка в массу осуществляется введением раствора проклеивающих веществ в волокнистую суспензию, находящуюся в бассейне [1, 3, 4, 15].

К числу проклеивающих веществ относят такие, которые сообщают бумаге водостойкость, а также и такие, которые связывают волокна между собой в бумажном листе и тем самым способствуют повышению сомкнутости и механической прочности бумаги, первые называют гидрофобизирующими, а вторые — связующими проклеивающими веществами [5]. К гидрофобизиру-

ющим проклеивающим материалам относятся: обычная и модифицированная канифоль, парафин, горный воск, стеараты, силиконы, битум, латекс, синтетические клеи и некоторые другие. К связующим материалам относят: крахмал, его производные (модифицированный крахмал), животный клей, казеин, соевый протеин, производные целлюлозы (карбоксиметилцеллюлоза, метилцеллюлоза, диоксиэтилцеллюлоза), некоторые растительные камеди (манногалактаны), жидкое стекло, синтетические полимеры — поливиниловый спирт, поливинилацетат, полиакриламид, альгинаты и другие [4, 14].

Наиболее перспективными гидрофобизаторами являются модифицированные крахмалы. Это связано с наличием положительно и отрицательно заряженных групп в макромолекулах этих крахмалов, что позволяет обеспечить значительные экономические и экологические преимущества процессам бумажного производства, использующих эти крахмалы [7, 8, 15].

Основное направление применения крахмала — это повышение прочности бумаги (в особенности поверхностной прочности). Применение модифицированных крахмалов дает дополнительный эффект, связанный с повышением удержания ими мелкого волокна, наполнителя, оптически отбеливающих и проклеивающих веществ [13, 14].

Катионный крахмал — замещенный крахмал, содержащий группы, способные придавать ему положительный заряд в водной среде при соответствующем значении рН. Чаще всего в бумажной промышленности в качестве положительно заряженных групп катионных крахмалов ис-

пользуются четвертичные аммониевые группы ( $\text{NH}_4^+$ ). Положительно заряженная функциональная группа может дать слабую ионную связь с отрицательно заряженной целлюлозой [12, 14].

Технологией получения катионного крахмала является обработка крахмала соединениями аминного характера. В производстве бумаги применяются два типа катионных простых эфиров крахмала: третичные аминоалкиловые

эфиры и четвертичные аммониевые эфиры крахмала, которые получают, используя в качестве реагентов в частности *N, N*-диэтил-2-хлорэтиламин и 3-хлор-2-гидрокси-пропилтриметиламмоний хлорид соответственно [12].

Анионный крахмал, содержащий группы, способные придавать отрицательный заряд в водной среде при заданном значении pH реже применяют при проклейке бумаги, из-за низкой степени его удержания на волокне (табл. 1).

Таблица 1. Удержание крахмала на сетке в зависимости от его вида

Добавка 1% крахмала в массу	Удержание крахмала, % при	
	pH 4,5	pH 7
Неионный крахмал	50	40
Анионный крахмал	100	40
Катионный крахмал (имеет четвертичную аминную группу)	100	100

Удерживание анионного крахмала на волокнах бумаги — за счет комплексообразования с алюминием обычно в слабокислой среде. Катионный крахмал — вначале оседает и удерживается на волокнах за счет электростатического взаимодействия с отрицательно заряженной целлюлозой. Крахмал с третичной группой при pH = 7 удерживается не более 40–50% [14]. Считается, что удерживание неионного (природного) крахмала происходит путем адсорбции на волокнах и установления дополнительных водородных связей.

В настоящее время нативный крахмал в качестве связующего применяется крайне редко из-за присущих ему недостатков, отмеченных выше. Его повсеместно заменили модифицированными крахмалами различного вида.

В отличие от нативного крахмала, который удерживается в массе на 10–20%, степень удержания катионных крахмалов достигает 95%. Катионные крахмалы не только повышают прочность бумаги и картона, но при определенных условиях способны значительно повысить удержание мелочи на сетке БДМ и естественно снизить содержание взвешенных веществ в подсеточной воде, улучшить работу отстойников для избыточной оборотной воды, а также имеют ряд других преимуществ. Однако специфика бумажно-картонного производства настолько сложна, что на каждом конкретном предприятии уровень результатов от применения катионного крахмала может быть различен. Здесь важно учитывать все: концентрацию массы, степень ее загрязнения анионными и катионными примесями, степень прессования, вид волокон, основной желаемый эффект от применения добавки (повышение прочности, удержание мелкого волокна) и многое другое [6, 11]. Поэтому, как правило, для

каждого конкретного потребителя катионного крахмала разрабатывается индивидуальная технология его применения с учетом конкретных целей и вида продукции.

На сложность выбора вида крахмала и технологии его применения косвенно указывает большое число параметров, подлежащих контролю в мокрой части бумагоделательной машины: проверяют pH, электропроводимость, содержание ионов Na, Ca, Al, катионную потребность, концентрацию растворенных органических и неорганических веществ, растворенный и удержанный крахмал, общее удержание, ХПК. При этом исследуется каждый вид целлюлозы, машинный бассейн, напорный ящик, воду и бумагу. Оценивается влияние на удержание крахмала вида волокна, pH, электропроводимости, катионной потребности [8, 9].

Серьезным недостатком применения катионного крахмала является ограничение количества катионного крахмала, в котором он может использоваться. В результате добавления катионного крахмала к волокнам происходит нейтрализация анионного заряда на целлюлозных волокнах и наполнителях и, в конечном итоге, перезарядка, которая приводит к суммарному катионному заряду. Этого не следует допускать, поскольку перезарядка ведёт к резкому снижению производительности мокрой части бумагоделательной машины, ухудшению общего удержания и формования.

В настоящее время многие фирмы предлагают специализированные виды крахмала, обеспечивающие значительный рост не только прочности на разрыв и сопротивление излому, но особенно таких показателей, как сопротивление продавливанию, плоскостному и торцевому сжатию кольца, что особенно важно для флютинга и тестлайнера.

Литература:

1. Гурьев, А.В. [Электронный источник]: Практикум по технологии бумаги: Учебное пособие. — Режим доступа: [http://wood.nglib.ru/book\\_view.jsp?idn=006673&page=4&format=free](http://wood.nglib.ru/book_view.jsp?idn=006673&page=4&format=free)

2. Все о модифицированных крахмалах [Электронный источник]: — Режим доступа: <http://kmv.com.ua/vse%20o%20mod1.html>
3. Ермаков, С. Г., Хакимов Р. Х. Технология бумаги. — Пермь: Пермский гос. Тех. Университет, 2002.
4. Иванов, С. Н. Технология бумаги [Текст] / С. Н. Иванов. — М.: Лесная промышленность, 1970. — 700 с.
5. Муллина, Э. Р., Мишурина О. А., Чупрова Л. В., Ершова О. В. Влияние химической природы проклеивающих компонентов на гидрофильные и гидрофобные свойства целлюлозных материалов // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 6. — с. 250; URL: [www.science-education.ru/120-16572](http://www.science-education.ru/120-16572) (дата обращения: 25.06.2015).
6. Мишурина, О. А., Тагаева К. А. Исследование влияния композиционного состава по волокну на влагопрочностные свойства исходного сырья при производстве картонных втулок // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. — 2013. — Т. 1. № 71. — с. 286–289.
7. Мишурина, О. А., Ершова О. В., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р. Технологические решения по производству упаковочного картона с улучшенными влагопрочностными свойствами // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–19. с. 4166–4170.
8. Мишурина, О. А., Жерякова К. В., Муллина Э. Р. Химические аспекты влияния гидрофильных и гидрофобных компонентов на эффективность проклейки бумаги // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 6–1. с. 83–85.
9. Мишурина, О. А., Муллина Э. Р., Жерякова К. В., Корниенко Н. Д., Фёдорова Ю. С. Анализ влияния сорбционных свойств бумаги-основы на процесс адгезии при получении различных видов бумажной упаковки // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 6–2. с. 200–202.
10. Мишурина, О. А., Муллина Э. Р., Жерякова К. В., Корниенко Н. Д., Фёдорова Ю. С. Перспективы использования влагопрочного картона и гофрокартона на рынке упаковочных материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 6–2. с. 203–205.
11. Муллина, Э. Р., Мишурина О. А., Нигматуллина Л. И., Ишкуватова А. Р. Влияние процесса вторичной переработки макулатуры на бумагообразующие свойства целлюлозного сырья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 4–1. с. 32–34.
12. Патент РФ № 2007145719/12, 11.05.2006. Легнерфельт Бьерн, Дольфф Элизабет Элизабет, Олауссон Ян. Способ получения бумаги и бумага, полученная данным способом // Патент России № .2388863 2006.
13. Производство модифицированных крахмалов [Электронный ресурс]: Основные направления применения модифицированных крахмалов — Режим доступа: [http://chemanalytica.com/book/novyy\\_spravochnik\\_khimi\\_ka\\_i\\_tekhnologa/06\\_syre\\_i\\_produkty\\_promyshlennosti\\_organicheskikh\\_i\\_neorganicheskikh\\_veshchestv\\_chast\\_II/5371](http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimi_ka_i_tekhnologa/06_syre_i_produkty_promyshlennosti_organicheskikh_i_neorganicheskikh_veshchestv_chast_II/5371)
14. Хованский, В. В., Дубовый В. К., Кейзер П. М., Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона. Учебное пособие, Санкт-Петербург 2013 г. с. 7–8.
15. Фляте, Д. М. Технология бумаги: учеб. для вузов — М.: Лесная промышленность, 1988. — 440 с.

## Робот для исследования грунта в сельском хозяйстве

Поезжаева Елена Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, профессор;

Новикова Анастасия Александровна, студент;

Сайкинова Вероника Алексеевна, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*В настоящее время стоит вопрос об обеспечении продовольственной безопасности (независимости) страны, в частности, необходимости подъема продуктивности сельского хозяйства. Разработан робот, позволяющий наиболее рационально выбрать местность для посадки сельскохозяйственных культур, путем определения физико-механических и химических свойств грунта и подходящей к нему культуры.*

**Ключевые слова:** робот, анализ почвы, сельское хозяйство, повышение продуктивности

В промышленно развитых странах мира достигнутый уровень развития материально-технической базы сельского хозяйства позволяет перейти от наращивания энергетических мощностей и насыщения техникой к качественно новому этапу — совершенствованию структуры материально-технической базы, повышению ее технического уровня, созданию комплекса машин не только для отдельных технологий, но и для определенных типов хозяйств.



Причинами, которые обуславливают необходимость роботизации сельскохозяйственного производства, являются: необходимость подъема продуктивности сельского хозяйства, поставки более дешевой и удобной для человека техники, обновления типов машин и оборудования.

В частности, решим проблему подъема продуктивности сельского хозяйства посредством более рационального выбора местности для посадки тех или иных сельскохозяйственных культур, для чего необходимо определить определенные физико-механические и химические свойства грунта.

Как правило, даже на небольшой территории физико-механические и химические свойства грунта могут отличаться. Обычно исследование свойств грунта очень трудоемкая и затратная операция, более рационально использовать роботов, которые смогут анализировать почву и прямо на месте подбирать наиболее подходящие именно для этого участка культуры.

Предлагается за основу взять робот со следящей системой.

Предполагается размещение на каждом узле сервомеханизма, эффективно контролирующего фактическое положение узла и положение, которое контроллер «хочет», чтобы узел занял, а затем перемещающего руку до тех пор, пока положения не совпадают. Иначе роботы без следящей системы, управление которыми без обратной связи относительно информации о действительном положении того или иного узла определяется весьма неточно — рука робота может где-нибудь застрять или совсем перестать двигаться, что значительно сужает сферу их применения.

Механическая рука, прикрепленная к платформе, снабженная видеокамерами и специальным рабочим органом, которым может сделать захват инструмента для взятия проб грунта [1]. Она приводится в движение электрическим приводом в заранее запрограммированной последовательности движений под управлением контроллера (управляющего устройства), который основан на микропроцессоре.

Для предполагаемого робота, который будет эксплуатироваться в сложных по проходимости условиях, наиболее эффективно использовать гусеничную платформу.

Для наиболее эффективного выполнения главной задачи робота, следует реализовать мини-лабораторию для анализа грунта.

Основываясь на встроенной базе данных, робот определяет наиболее подходящую для этой местности культуру для посадки. Результаты исследования предлагается записывать на твердотельный накопитель с помощью какого-либо микропроцессора.

В связи со сложностью и существенной нелинейностью динамических характеристик манипуляционного робота проблема оптимального контурного управления такой системой является чрезвычайно трудной. Задача упрощается при ее решении в два этапа. На первом этапе до начала движения осуществляется планирование оптимальной траектории движения по заданной геометрической траектории как функции времени, а на втором в реальном времени осуществляется отслеживание полученного движения. Для того чтобы робот мог достаточно точно отследить сформированную траекторию, на этапе планирования необходимо располагать точным значением динамики манипуляционной системы. Однако на практике инерционные характеристики объекта манипулирования часто бывают неизвестны [2].

Динамика манипуляционного робота в тензорных обозначениях может быть описана уравнением:

$$u_i = J_{ij}\ddot{q}^j + C_{ijk}\dot{q}^j\dot{q}^k + R_{ij}\dot{q}^j + g_i ; \tag{1}$$



Рис. 1. Робот на гусеничной платформе





Рис. 2. Мини-лаборатория для анализа почв «Аналитик-Эксперт»

где  $u_i$  –  $i$ -тая обобщенная сила;  $q_i$  –  $i$ -тая обобщенная координата;  $J_{ij}$  – матрица инерции;  $C_{ijk}$  – массив кориолисовых коэффициентов, определяемый выражением

$$C_{ijk} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial J_{ij}}{\partial q^k} + \frac{\partial J_{ij}}{\partial q^j} + \frac{\partial J_{ij}}{\partial q^i} \right); \quad (2)$$

$R_{ij}$  – матрица вязкого трения;  $g_i$  – сила тяжести. Матрица инерции  $J_{ij}$ , массив кориолисовых коэффициентов  $C_{ijk}$  и вектор  $g_i$  являются функциями положения манипулятора и матрицы псевдоинерции объекта манипулирования, включающей в себя массу, первые и вторые моменты объекта моделирования.

Желаемая геометрическая – траектория задается в конфигурационном пространстве в параметрической форме, т.е. все координаты  $q^i$ , характеризующие перемещения в степенях подвижности манипулятора, выражаются через единственный параметр  $\lambda$

$$q^i = f^i(\lambda), \quad 0 \leq \lambda \leq \lambda_{max}. \quad (3)$$

При такой форме представления появляется возможность выразить положения, скорости и ускорения в степенях подвижности через параметр  $\lambda$  и его производные по времени. Подставляя эти соотношения в уравнение динамики (1), можно получить

$$u_i = J_{ij} \frac{df^i}{d\lambda} \dot{\mu} + \left( J_{ij} \frac{d^2 f^i}{d\lambda^2} + C_{ijk} \frac{df^i}{d\lambda} \frac{df^k}{d\lambda} \right) \mu^2 + R_{ij} \frac{df^i}{d\lambda} + g_i; \quad (4)$$

где  $\mu \equiv \dot{\lambda}$  – псевдоскорость. Если объект манипулирования имеет некоторую номинальную матрицу псевдоинерции  $I_N$ , то уравнение (4) можно представить в форме

$$u_i = M_i(\lambda, I_N) \dot{\mu} + Q_i(\lambda, I_N) \mu^2 + R_i(\lambda) \mu + S_i(\lambda, I_N), \quad (5)$$

где

$$M_i = J_{ij}(I_N) df^i/d\lambda,$$

$$Q_i = J_{ij}(I_N) d^2 f^i/d\lambda^2 + C_{ijk}(I_N) df^i/d\lambda * df^k/d\lambda,$$

$$R_i = R_{ij} df^i/d\lambda \text{ и } S_i \equiv g_i(I_N).$$

Если инерционные характеристики объекта манипулирования отличаются от нормальных, то возмущённое уравнение динамики можно представить в виде

$$u'_i = M_i(\lambda, I_N + \Delta I_N) \dot{\mu} + Q_i(\lambda, I_N + \Delta I_N) \mu^2 + R_i(\lambda) \mu + S_i(\lambda, I_N + \Delta I_N). \quad (6)$$

Для того, чтобы требуемые моменты не превысили возможностей приводов, нужно выбрать такие  $\mu$  и  $\dot{\mu}$ , что при отклонениях  $\Delta I_N$  в известных пределах величина момента  $u'_i$ , определенного выражением (6). Остается реализуемой, т.е.

$$u_i^{\min}(\lambda, \mu) \leq u'_i \leq u_i^{\max}(\lambda, \mu). \quad (7)$$

Также могут быть наложены ограничения на скорость изменения этого момента, как функции положения, скоростей и ускорений

$$|\dot{u}_i| = |F(q, \dot{q}, \ddot{q})| \leq K_i, \quad (8)$$

где  $F: R^N \times R^N \times R^N \rightarrow R$ ;  $K_i$  – константа.

Способ формирования податливого движения основан на изменении жесткости схвата манипулятора. Соответствующая концепция управления учитывает жесткость манипулятора в виде матрицы сил, воздействующих на схват при отклонении его от номинального положения. Стабилизация инерционных сил производится специальной системой.

Спроектирована модель робота, которая может повысить продуктивность и сократить время выполнения исследования, а так же помочь в выборе культуры наиболее эффективной для посадки на данной территории.

Литература:

1. Поезжаева Е.В.// Промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. / Е. В. Поезжаева. — Пермь: Изд-во Перм. Гос. техн. ун-та, 2009. — Ч.2. — 185.
2. Поезжаева Е.В.// Теория механизмов и механика систем машин. / Е. В. Поезжаева. — Пермь: Изд-во Перм. Гос. техн. ун-та, 2015. — 400.

## Роботизация для обеспечения комфорта в промышленных и бытовых помещениях

Поезжаева Елена Вячеславовна, кандидат технических наук, профессор;  
Поликарпова Кристина Николаевна, студент  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

*Ключевые слова: робот, манипулятор, увлажнитель, подвижность.*

**Keywords:** *robot, manipulator, humidifier, mobility.*

Обеспечение комфортного микроклимата в заводских и бытовых помещениях требует поддержания в них относительной влажности воздуха в соответствии с санитарными нормами. Роботизированный пылесос, который был разработан нами ранее, усложнили путем добавления дополнительного устройства. Функциональность робота-пылесоса увеличивается за счет ультразвукового увлажнителя воздуха, который служит для повышения очистки воздуха в заводском или бытовом помещении. В устройство увлажнителя воздуха входят платы питания и генерации ультразвуковой частоты. Плата питания формирует напряжения для питания активных элементов усилителя с положительной обратной связью. За счет этого каскад начинает генерировать колебания. Данные колебания, при достаточной мощности будут разбивать воду на мельчайшие капельки.

Практика эксплуатации и проектирования робота-пылесоса показала необходимость средств анализа передвижения автономного транспортного средства. Желаемая траектория движения задается в координатной системе задания путем указания требуемых положений рабочего органа и его ориентации. При управлении неизбыточными роботами такая траектория обычно преобразуется в пространство обобщенных координат и полученные желаемые траектории движения в степенях подвижности робота обрабатываются независимыми следящими системами. Во многих практических ситуациях, связанных с работой в сложных загроможденных средах, находят применение манипуляторы с кинематической избыточностью. В этом случае не существует однозначного преобразования из пространства задания в пространство обобщенных координат. Существующие

подходы к формированию траекторий избыточных манипуляторов достаточно сложны и, как правило, не учитывают реальных динамических характеристик манипуляторов. Ниже рассматривается задача управления

движением одного класса избыточных манипуляционных систем, представляющих собой быстрый малый неизбыточный манипулятор, установленный на медленной позиционирующей руке больших размеров (см.рис.1).

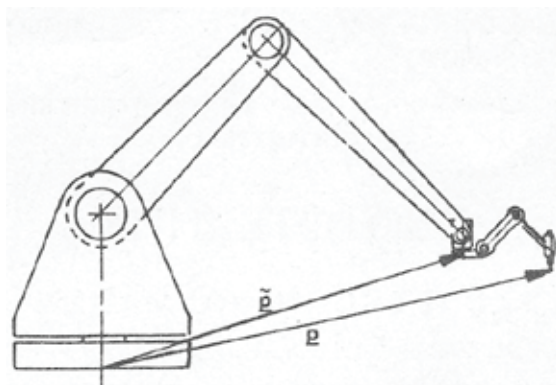


Рис. 1. Неизбыточный манипулятор, установленный на платформе робота-пылесоса

Задача управления избыточной манипуляционной системой по заданной в пространстве заданию траектории разделена на две подзадачи: кинематическую, связанную с формированием желаемых траекторий в степенях подвижности манипулятора с исключением вырождения системы и «потери» степеней свободы, и задачу отслеживания заданной траектории. Конфигурация манипуляционной системы, показанной на рис.1, определена векторами  $p$  и  $p_1$  в неподвижной системе координат. Вводится в рассмотрение расширенный вектор положения системы в координатной системе задания  $p_a = [p \ p_1]$ ,  $\dim(p_a) = n$ , где  $n$  — число степеней подвижности избыточной манипуляционной системы. Когда задано желаемое положение рабочего органа  $p_{ref}$ , можно из кинематических соображений выбрать  $p_{ref1}$  таким образом, чтобы неизбыточный малый манипулятор находился в положении, близком к центру его рабочего пространства. Если позиционирующая часть избыточной манипуляционной системы имеет три степени подвижности и используется для того, чтобы обеспечить основанию малого манипулятора три поступательные степени свободы, вектор  $p_{ref}$  можно выбрать в соответствии с выражением  $p_{ref1} = d_{ref} - d_0$  [1]. Таким образом, по заданному изменению  $p_{ref}$  можно сформировать эталонную траекторию  $q_{ref}$ , которая должна быть отработана следящей системой. Однако при управлении движением рассматриваемого классом манипуляционных систем по заданной траектории возникает ряд проблем. Для того чтобы позиционирование осуществлялось точно, необходимо, чтобы координаты  $q_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  были достаточно близки к соответствующим значениям  $q_i, ref$ . Это означает, что в тех случаях, когда позиционирующая рука манипуляционной системы является большой и медленной, а манипулятор — малым и быстрым, инерционная позиционирующая часть ограничивает полосу пропускания всей системы. Кроме того, такой метод управления требует значительных величин моментов в степенях подвижности. Ниже предлагается подход, позволяющий обе-

спечить точную отработку  $p_{ref}$  при меньшей точности движения позиционирующей руки [2]. При этом высокочастотная составляющая задания выполняется манипулятором, а низкочастотная — позиционирующей рукой. Уравнение движения  $n$ -звенного манипулятора может быть представлено в форме  $M(q) \ddot{q} = n(q, \dot{q}) + T_y$ , где  $M(q)$  — матрица инерции;  $n(q, \dot{q})$  — вектор, включающий в себя Кориолисовы центробежные члены, а также силы трения и тяжести;  $T$  — вектор входных моментов. Взаимосвязь скорости изменения положения в пространстве задания и скорости движения в угловой системе координат представляется соотношением  $\dot{p} = J(q) \dot{q}$ , где  $J(q)$  — матрица Якоби. Описанный метод управления может быть использован для управления рассматриваемыми манипуляционными системами. Поскольку требуемая точность отслеживания желаемого положения рабочего органа должна быть выше точности отслеживания положения позиционирующей руки. В закон управления могут быть дополнительно включены программная составляющая, рассчитанная по ускорению желаемого движения  $U_i = X_{i,ref}'' + g_i dx_i + g_{i+n} dx_{i+n} + K_i \int dx_i(t) dt$ . Коэффициенты интегральной обратной связи выбираются из соотношения  $K = g_i^2 / (5g_{i+n})$ , что соответствуют взаимосвязи постоянных времени интегрирования  $T_i$  и дифференцирования  $T_d$  ПИД-регулятора. Показано, что для обеспечения робастности системы существенно большее значение имеет точность вычисления матрицы инерции. Точность вычисления членов  $n(\cdot; \cdot)$  и  $M J^{-1} \dot{q}$  мало влияние на устойчивость системы. Предложенный подход был использован для синтеза системы управления роботом-пылесосом, который предназначен для ультразвукового увлажнения воздуха. Манипуляционная система имеет девять степеней подвижности, одна из которых имеет только два фиксированных положения  $0^\circ$  и  $180^\circ$ . Система включает в себя манипулятор с шестью степенями подвижности, установленный на подвижном основании. Степени подвижности, позиционирующей руки су-

щественно более инерционны, чем степени подвижности манипулятора. Положение рабочего органа в пространстве задания определяется вектором  $P = [x, y, z, \phi, \psi, \gamma]^T$ , где  $x, y, z$  определяют положение рабочего органа в ко-

ординатной системе основания, а углы  $\phi, \psi$  и  $\gamma$  определяют ориентацию, рабочего органа. Таким образом, разработанная конструкция робот позволяет обеспечить микроклимат в жилых и промышленных помещениях [3].

Литература:

1. Поезжаева, Е. В. Промышленные роботы: учеб. пособие. в 3 ч. — М.: Изд-во УМО АМ МВТУ им. Баумана; изд-во ПГТУ, 2009
2. Зенкевич, С. Л. Управление роботами — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000
3. Поезжаева, Е. В. Теория механизмов и механика систем машин: учебное пособие — М.: изд-во ПГТУ, 2015

## Физико-химические факторы, влияющие на формирование техногенных вод и химизм окисления сульфидных минералов

Савин Артём Александрович, инженер  
Политехнический колледж (г. Магнитогорск, Челябинская обл.)

*Статья посвящена актуальному вопросу переработки техногенных вод ГОКов медноколчеданных месторождений. В частности рассмотрена актуальность деманганации техногенных вод, формирующихся на территории горных предприятий. Предложен комплекс методов по переработке и очистке гидротехногенных образований.*

**Ключевые слова:** факторы, техногенез, техногенные воды, условия, процесс.

Современная гидрогеодинамическая и гидрогеохимическая структура подземной гидросферы Южного Урала сформировалась в результате длительной эволюции под воздействием комплекса естественноисторических процессов. В последние годы происходит глубокое проникновение техногенных процессов в геологическую среду (до 2000 м). Наиболее интенсивно техногенез формируется на территориях, где одновременно производится промышленное освоение целой группы близко расположенных друг к другу месторождений полезных ископаемых (Баймакский, Учалинский, Бурибаевский, Маканский и другие рудные районы) [1, 4].

Техногенная деградация подземной гидросферы горнорудных районов уральского региона носит локальный характер в пространстве (карьеры глубиной до 470 м и с отвалами высотой до 80 м), но длительный характер во временном отношении, что обусловлено накоплением огромных объемов твердых и «жидких» отходов. Трещинный и трещинно-жильный характер подземных вод, слабое развитие перекрывающих пород способствует беспрепятственному проникновению концентрированных растворов, содержащих тяжелые металлы, в водоносные горизонты. Все это приводит к формированию на территории горнорудных узлов техногенных гидрогеохимических полей трансформированных вод [2, 5].

Анализ схемы сбора техногенных вод на большинстве горнорудных предприятий Южного Урала и на Бурибаевском руднике, в частности, показал, что все стоки собираются в общий водосборник — хвостохранилище или пруды-отстойники, что приводит к разубоживанию концентрированных марганецсодержащих вод. При этом следует учитывать, что всякий компонент извлекать из какого-либо раствора тем проще, чем выше в нем его содержание. Это связано с изменением механизма процесса удаления примеси при изменении ее содержания в растворе. Системы с малым содержанием компонентов отличаются большей индивидуальностью, лиофильностью и требуют специфических методов извлечения [5].

Воздействие физико-географических и горно-геологических факторов на процесс формирования водопритока и химического состава поверхностных и подземных вод сопровождается физико-химическими процессами, результатом которых и является образование метаморфизованных вод. К физико-химическим факторам, влияющим на формирование состава вод, относятся химические свойства элементов горных пород и вод, щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия среды, растворимость солей, процессы диффузии, осмоса, смешения вод и катионного обмена, биохимические и другие процессы [3].

Химический состав вод зависит от состава и растворимости твердых веществ, с которыми вода взаимодействует, от условий, в которых это взаимодействие осуществляется. На контакте подземной воды с горными породами протекают

физико-химические и биохимические процессы, основными из которых являются растворение (осаждение) твердых минеральных веществ, гидролиз, ионный обмен между горными породами и водой, преобразование и минерализация органического вещества, окисление и восстановление минеральных соединений [7, 13].

В результате смешения вод различных водоносных горизонтов и подземных вод с инфильтрующимися водами поверхностного происхождения (атмосферные осадки, поверхностные воды, сточные воды различного состава) происходит увеличение или уменьшение концентрации растворенных веществ в подземных водах [6, 14].

При контакте вод с минеральными веществами горных пород происходит их гидратация, которая ведет к разрушению кристаллических структур и переходу твердых веществ в растворенное состояние [4]. От кислотно-щелочной реакции воды, скорости ее движения, состава и структурных особенностей пород зависит интенсивность взаимодействия воды с минералами [2, 4].

Под влиянием кислорода воздуха и богатых кислородом инфильтрационных вод в верхних горизонтах залежей сульфидных руд развиваются процессы окисления сульфидных минералов, которые ведут к образованию хорошо растворимых в воде сернистых и сульфатных соединений [12].

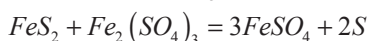
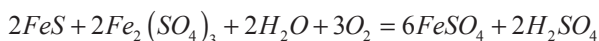
Интенсивность процессов окисления, оказывающая влияние на формирование качественного состава вод, зависит также от генезиса медноколчеданных месторождений, геологического строения, минерального состава руд, условий залегания рудного тела и боковых пород, от вкрапленности рудных минералов, величины поверхности соприкосновения воды с сульфидами, растворимости сульфидов, скорости обновления воды, омывающей сульфиды, температуры, растворимости получаемых сульфатов, стабильности или метастабильности данных модификаций [12]. Поскольку медноколчеданные месторождения Среднего и Южного Урала образованы в результате единого геологического процесса, то и прослеживающиеся закономерности в образовании химического состава вод характерны для всех месторождений [14].

Значительное влияние на скорость окисления и растворения сульфидов оказывает изоморфизм — явление, присущее сульфидным рудам и проявляющееся в существовании большого числа минералов смешанного состава [4, 10]. Следует также отметить, что, электрохимические явления, возникающие на границе контакта различных минералов, имеющих различные потенциалы, усиливают процессы водяно-воздушного окисления.

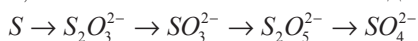
Общую схему окисления сульфидов в присутствии кислорода и воды можно проиллюстрировать на примере пирита ( $\text{FeS}_2$ ) — наиболее широко распространенного минерала:  $2\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$

Образовавшийся сульфат железа (II) в растворах невысокой кислотности и при наличии свободного кислорода оказывается неустойчивым и переходит в окисный сульфат:  $12\text{FeSO}_4 + 3\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{Fe}(\text{OH})_3$

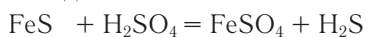
Сульфат железа (III), взаимодействуя с сульфидами, теряет кислород, восстанавливается до сульфата железа (II) по схеме:



Сера, как правило, в момент выделения в присутствии кислорода подвергается дальнейшему окислению до сульфат-иона, что наиболее явно наблюдается в открытых горных выработках и на рудных складах:



Продукты окисления пирита —  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  — оказывают сильнейшее растворяющее действие на большинство минералов, слагающих рудную массу и боковые породы. Действие  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на сульфиды в общем случае происходит по схеме:



Окисный сульфат ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) к тому же являясь энергичным окислителем, часто переносит кислород в такие горизонты месторождения, куда свободный атмосферный кислород обычно не проникает [12]. Закисный сульфат  $\text{FeSO}_4$  оказывает резкое восстановительное действие на целый ряд соединений зоны окисления.

Процессы окисления сульфидов дают начало возникновению разнообразным, хорошо растворимым в воде сульфатам, обуславливают значительный вынос цветных металлов из зоны медно-колчеданных месторождений [8, 10].

Сульфаты в зоне гипергенеза рудных месторождений многочисленны и разнообразны. Можно назвать около 120 минеральных видов этого класса, обнаруженных в составе окисленных руд, хотя далеко не все среди них дают ощутимые концентрации. Более 1/3 сульфатов зоны гипергенеза относится к солям Fe. На 2-е место по числу минеральных видов следует поставить соединения Cu и Zn [14].

Большинство среди рассматриваемых сульфатов — водные соединения, для которых характерны группы минералов, различающиеся только по количеству гидроксильной или молекулярной воды. Многие сульфаты в зоне гипергенеза представлены сезонными и техногенными образованиями, появляющимися лишь в строго определенных климатических условиях в зависимости от степени влажности среды и характера циркуляции вод, а также в обстановке, складывающейся в период разведки и эксплуатации месторождения.



Основная группа сульфатов — это купоросы — водные сульфаты  $Fe^{2+}$  или разности с изоморфной примесью Си, Zn, Mn и Mg [4, 9, 11, 12]. Образуются исключительно как сезонные или техногенные минералы — выцветы, налеты и порошковидные корочки на стенках горных выработок, на рудных отвалах, которые могут одновременно содержать два–три минерала, различающихся количеством воды.

Таким образом, формирование состава техногенных вод зависит от свойств химических элементов и их соединений (подвижности, способности вступать в реакции, растворимости, форм миграции) и тесно связаны с преобразованием горных пород и выносом из них растворенных компонентов.

#### Литература:

1. Абдрахманов, Р. Ф. Гидроэкология Башкортостана Уфа: Инфореклама, 2005. — 344 с.
2. Белан, Л. Н. Геоэкология горнорудных районов Башкортостана: Монография. Уфа, РНО БашГУ, 2003. — 178 с.
3. Борнеман-Старынкевич, И. Д. Химические анализы и формулы минералов. М., 1969. — 256 с.
4. Емлин, Э. Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд-во Урал. университета, 1991. — 256 с.
5. Курбангалеев, С. Ш. Природоохранная деятельность ОАО «Учалинский ГОК» // Изв. вузов. Горный журнал, 2004, № 3. — С.52–56.
6. Мишурина, О. А. Электрофлотационное извлечение марганца из гидротехногенных ресурсов горных предприятий // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 3. с. 72–74.
7. Мишурина, О. А. Технология электрофлотационного извлечения марганца в комплексной переработке гидротехногенных георесурсов медноколчеданных месторождений. — автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук // Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 2010.
8. Мишурина, О. А., Муллина Э. Р. Химические закономерности процесса селективного извлечения марганца из техногенных вод // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2012, № 3. с. 58–62.
9. Мишурина, О. А., Муллина Э. Р. Технология электрохимической очистки сточных вод // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 4–1. с. 29–31.
10. Мишурина, О. А., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р. Особенности химических способов извлечения марганца из технических растворов // Молодой учёный. — 2013. — № 5. — С.84–86.
11. Мишурина, О. А., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р. Деманганация сточных вод растворами хлорной извести // Альманах современной науки и образования. — 2013. — № 9 (76). — С.115–118.
12. Митрофанов, С. И. и др. Комбинированные методы переработки окисленных и смешанных руд. М., Изд-во «Недра», 1970. — 288 с.
13. Мустафин, А. Г., Ковтуненко С. В., Пестриков С. В., Сибитова З. Ш. Исследование экологического состояния реки Таналык республики Башкортостан // Вестник Башкирского университета, 2007, № 4. — с. 43–44.
14. Табаксблат, Л. С. Техногенные попутные воды месторождений Урала // Известия вузов. Горный журнал. — 1997, № 11. — с. 66–75.

## Образование оксидов азота из геммоксида азота в процессе горения углеводородного топлива

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

*В данной статье рассмотрено образование оксидов азота из геммоксида азота в процессе горения разных видов углеводородного топлива.*

**Ключевые слова:** *отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, оксиды азота.*

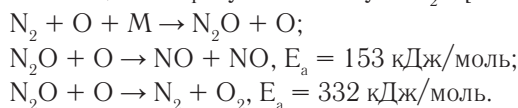
Оксиды азота и их производные являются побочными продуктами нефтехимических производств (при отсутствии химически связанного азота в топливе)

и рабочих процессов дизельных двигателей. Образываясь в процессе горения, главным образом, как результат химических реакций атмосферного кислорода и азота, они

оказывают влияние на легкие и на органы зрения. Начиная с 150 мкг/м<sup>3</sup>, при длительных воздействиях происходит нарушение дыхательных функций. Оксиды азота раздражают слизистую оболочку глаз и носа, разрушают легкие. В дыхательных путях оксиды азота реагируют с влагой, поражают слизистые оболочки, бронхи, альвеолярную ткань легких и т.д. Попадая в почву, они вымывают соединения магния, калия и кальция, в результате растения не получают эти вещества в достаточном для фотосинтеза количестве и листья желтеют. Диоксид азота непосредственно действует на листья, вызывая частичное закрывание устьиц, за счет чего замедляется транспирация и как следствие снижается интенсивность фотосинтеза [1–12].

Попадая в атмосферу, оксид азота постепенно превращается в диоксид путем взаимодействия с озоном и гидроперекисными радикалами. Таким образом, оксиды азота накапливаются в нижних слоях атмосферы. Их присутствие вызывает кислотные дожди, фотохимический туман — смог, снижает прозрачность атмосферы и сказывается на последующих превращениях главного компонента атмосферы — кислорода

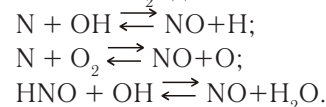
Реакция диссоциации гемиоксида азота представляет большой интерес в кинетике образования NO. Она играет большую роль в различных моделях образования и распада NO<sub>x</sub> и используется как контролируемый источник атомарного кислорода при изучении элементарных реакций окисления. Во время реакции в присутствии третьей частицы M образуется молекула N<sub>2</sub>O [13–25]:



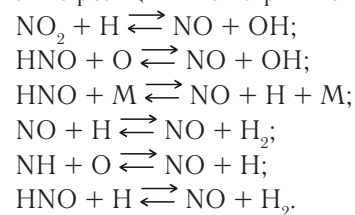
При достаточно высоких температурах и малых концентрациях реакции слабо влияют на кинетику образования NO<sub>x</sub>. Очень часто эти реакции вообще не учиты-

вают, поскольку они дают обычно незначительный вклад в полный выход NO. Однако в условиях бедной смеси образование радикалов СН может быть подавлено, и, следовательно, по механизму С.П. Фенимора образуется меньше NO, а низкие температуры подавляют образование NO по механизму Я.Б. Зельдовича. Остается только образование NO из N<sub>2</sub>O, которое промотируется высоким давлением из-за тримолекулярной реакции и, как это обычно свойственно тримолекулярным реакциям, имеет низкую энергию активации. Поэтому низкие температуры не снижают его скорость так сильно, как в случае механизма Я.Б. Зельдовича. Все указанные обстоятельства приводят к тому, что путь образования NO через образование N<sub>2</sub>O является основным источником NO при горении бедных предварительно перемешанных смесей и в двигателях при использовании ПГ.

Установлено, что в КС дизеля в зонах максимальных температур за время 10<sup>-4</sup> с образуется только NO, а реакций с образованием NO<sub>2</sub> практически нет (почти все образование NO<sub>2</sub> идет за счет NO):



За счет реакций «термических» оксидов азота образуется 86% от всего выхода NO, остальные 14% образуются по реакциям «быстрых» оксидов азота:



К тому моменту, когда горение метана уже практически закончилось, в системе присутствует лишь 13% от общего количества NO [26–31].

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 1. с. 11–13.
7. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
8. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.

9. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
10. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
12. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
13. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
14. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
15. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
16. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
17. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
18. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
19. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
20. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
21. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
22. Анфилатов, А. А. Особенности экспериментальной установки для исследования рабочего процесса дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 223–226.
23. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
24. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
25. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
26. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.
27. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
28. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
29. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
30. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
31. Лопатин, О. П. Исследование индикаторных показателей газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 253–255.

## Образование топливных оксидов азота в процессе горения углеводородного топлива

Скрябин Максим Леонидович, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В данной статье рассмотрено образование топливных оксидов азота в процессе горения разных видов углеводородного топлива.

**Ключевые слова:** отработавшие газы, загрязнение воздуха, токсичные компоненты, оксиды азота.

Образование оксидов азота при сжигании углеводородных топлив, содержащих топливно-связанный азот, связано с взаимодействием азота и кислорода при температурах выше 1600 К, но в интервале температур 1400–2100 К в основном определяется окислением азота топлива и является источником образования NO<sub>x</sub>, поступающих в атмосферу с продуктами сгорания.

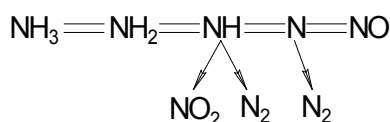
Выход азота топлива существенно зависит от параметров среды, окружающей горящую каплю топлива. Выход азота в газовую фазу в случае термического разложения возможен уже при температурах до 520...570 К [1–15].

С.П. Фенимором проведено исследование кинетики окисления связанного азота в виде пиридинового, аммиачного, метиламина, подаваемых в газовые пламена. В результате исследования получено уравнение для концентрации NO, образующейся при окислении азота топлива:

$$\frac{C}{[C_{NO}]} = 1 - \exp\left\{-\frac{[C_{NO}] + C_{NO}}{2 \cdot [C_{NO}]}\right\},$$

где C<sub>NO</sub> — выход оксида азота при окислении всего количества связанного азота в оксид.

Уравнение показывает, что при увеличении содержания связанного азота в топливе его концентрация будет расти только до тех пор, пока не будет достигнут равновесный выход оксида азота. При этом ясно, что доля перехода топливного азота будет тем выше, чем меньше содержание азота в топливе и чем ниже температура процесса горения. Однако имеются достоверные данные масс-спектроскопических анализов, показавшие наличие радикалов HCN CN NH NH<sub>2</sub> и OH в зоне горения азотосодержащих топлив. Это послужило основой разработки ориентировочного механизма образования топливного азота, согласно которому азот топлива сначала переходит в промежуточные соединения — радикалы, а затем частично окисляется до оксидов азота, а значительная часть его переходит в молекулярный азот. Здесь имеет место следующая схема:



П.В. Росляков провёл расчётный анализ выхода топливных NO<sub>x</sub>. При сгорании углеводородного топлива, имеющего состав CH<sub>4</sub> 0...88,7%, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 0...88,7%, H<sub>2</sub> 8...98,7%, N<sub>T</sub> — 1,0%, W — 1,0%, автор пришёл к выводу, что скорость образования топливного NO уменьшается с увеличением содержания CH<sub>4</sub> [16–26].

На основании анализа сделаны следующие выводы: азотосодержащие соединения топлива при горении частично окисляются до NO, и влияние этого процесса на общее содержание оксида азота в продуктах сгорания должно быть учтено.

Подводя краткие итоги изложения результатов исследований по изучению процессов образования топливных оксидов азота, можно сделать следующие основные выводы:

1. Образование топливных оксидов азота происходит на начальном участке факела, в области образования «быстрых» NO, и до образования «термических» NO.
2. Выход топливных NO слабо по сравнению с термическими и быстрыми и практически не зависит от температуры.

3. Вид азотосодержащих соединений не оказывает существенного значения на выход топливных NO.

4. Степень перехода азота топлива в NO уменьшается с увеличением массовой концентрации азота в топливе. Однако, при этом абсолютный выход NO повышается.

5. Азотосодержащие соединения топлива при горении, частично окисляясь до NO, вносят существенный вклад в общую эмиссию NO<sub>x</sub> с ОГ при количествах связанного азота в топливе N<sub>T</sub> > 0,1%. Поэтому применительно к условиям сгорания в газодизеле учитывать влияние топливных оксидов азота не имеет необходимости, так как ПГ не содержит химически связанного азота, а ДТ содержит его не более 0,01%.

Подводя итог можно отметить, что при горении МВС в цилиндре газодизеля образование оксидов азота происходит только в результате окисления азота воздуха по термическому и быстрому механизмам [27–32].

## Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 4 (40). с. 21–25.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. с. 7–9.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 1. с. 11–13.
7. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
8. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2009. — 184с.
9. Анфилатов, А. А., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров, 2008. — 156 с.
10. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. с. 3–5.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Анфилатов А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путём применения метанола с использованием двойной системы топливоподачи // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 5. с. 5–8.
12. Анфилатов, А. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 путём применения метанола с двойной системы топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009. — 18 с.
13. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 3. с. 4–5.
14. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Глухов А. А., Анфилатов А. А. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля при работе на метаноле // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 4. с. 10–13.
15. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на оксиды азота при сгорании в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 151–154.
16. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 139–142.
17. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле для номинальной частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 142–145.
18. Лиханов, В. А., Анфилатов А. А. Исследование применения метанола в дизеле на оптимальных установочных углах // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 42–44.
19. Анфилатов, А. А. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 45–47.
20. Анфилатов, А. А. Исследование токсичности на скоростном режиме дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 47–50.
21. Анфилатов, А. А. Исследование дымности в отработавших газах дизеля при работе на метаноле // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 50–53.
22. Анфилатов, А. А. Особенности экспериментальной установки для исследования рабочего процесса дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 223–226.
23. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
24. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.



25. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
26. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.
27. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
28. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2009. — 202 с.
29. Лопатин, О. П. Зонная модель процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 261–265.
30. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 265–268.
31. Лопатин, О. П. Исследование индикаторных показателей газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 253–255.

## О скважности зернового потока, выходящего из выпускного отверстия бункера наибольшей пропускной способности

Скудина Александра Александровна, старший преподаватель  
Донской государственной технической университет

*В статье приводится влияние скважности зернового потока на расход осесимметричного бункера наибольшего расхода и сводообразования в нем. Рассмотрены экспериментальные данные подтверждающие теоретические выводы.*

**Ключевые слова:** жидкостная пленка, зерновой материал, осесимметричные бункера, влажность зернового материала, сводчатые структуры.

Истечение сыпучих материалов из отверстий сосудов одна из интересных древнейших задач. Первое применение законов истечения выразилось в изобретении песочных часов, которые были предложены в VIII веке н. э. Луитпрандом и используются в некоторых случаях и сейчас.

Первые исследования по механике сыпучих материалов являются экспериментальными. В них устанавливались зависимости объемного (либо массового) расхода сыпучего материала и распределения сил от форм и размеров емкостей и от свойств сыпучей среды. [1]

Теоретические исследования появились значительно позже экспериментальных — после создания моделей сыпучей среды, которые отражают ее основные свойства и позволяют решать практические задачи.

Гидравлическое истечение сыпучего происходит, как указывается в работе Л. В. Гячева, при условии, если  $0 \leq \alpha_0 < 90^\circ - (\beta + \psi + \varphi_{np})$ , где  $\beta$  — угол укладки зерновок в бункере;  $\psi$  — угол трения между зерновками;  $\varphi_{np}$  — приведенный угол трения потока зерновок о граничную поверхность бункера (рисунок 1).

Как следует из опыта эксплуатации бункеров, их продольное сечение стремятся выполнить по продольному сечению потока (рисунок 2), наблюдаемому при нормальном его истечении.

Объясняется это тем, что граничные линии скольжения такой формы (см. рисунок 2) являются линиями скольжения наименьшего сопротивления сдвигу дискретного сыпучего тела, что обуславливает его равномерный выход из выпускного отверстия бункера, то есть, равномерное распределение дискретных частиц сыпучего по его площади.

Зависимости, определяющие расходные характеристики исследуемых бункеров, не учитывают скважность выходящих из них зерновых потоков. Это, естественно, вносит ошибку при определении секундных объемов или масс, истекающих из выпускных отверстий бункеров. То есть, с этих позиций указанные зависимости должны быть уточнены, скорректированы.

Если, как следует из принятой модели сыпучего тела, непосредственно над плоскостью выпускного отверстия находится слой зерновок с условным их диаметром  $d_y$ , то этот слой занимает объем (рисунок 3) в усеченной части  $ABCD$  прямого конуса, равный  $V_{ABCD}$ , в котором может поместиться  $n$ -возможных шаровых частиц:

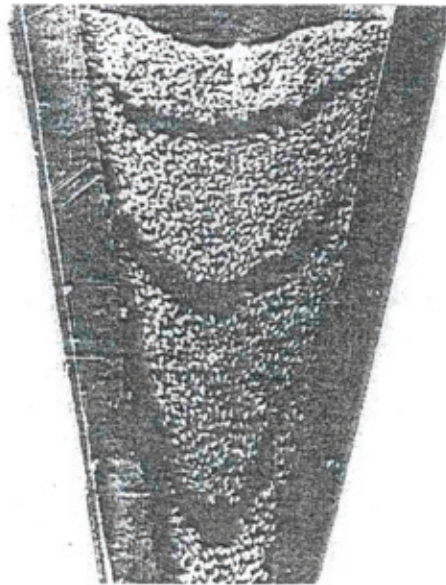


Рис. 1. Гидравлический вид истечения сыпучего тела в бункере (пшеница)

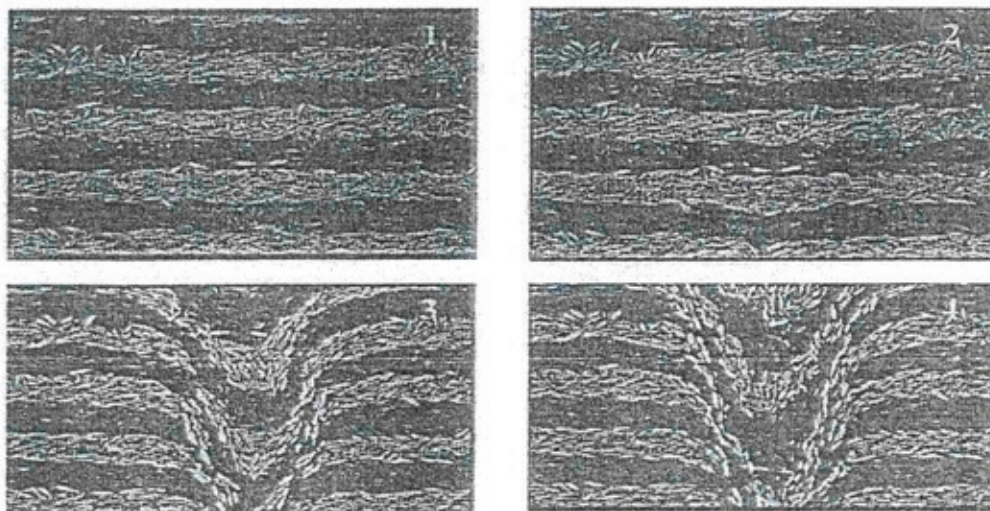


Рис. 2. Нормальный вид истечения сыпучего тела из бункера (овес)

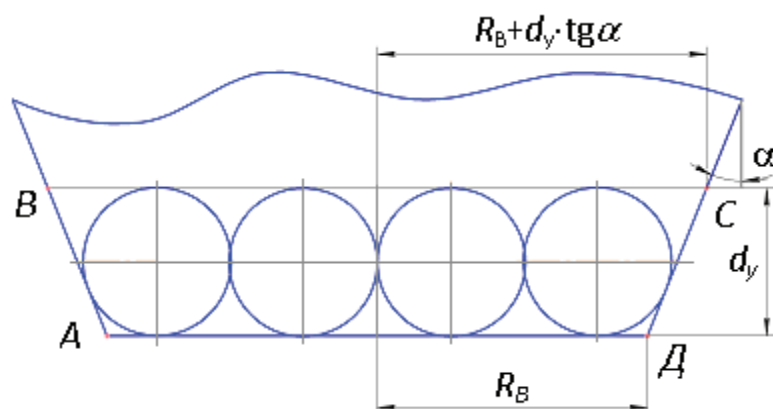


Рис. 3. К определению скважности потока сыпучего, выходящего из выпускного отверстия бункера

$$n_{\text{возм}} = \frac{2(3R_g^2 + 3R_g \cdot d_y \cdot \text{tg} \alpha + d_y^2 \cdot \text{tg}^2 \alpha)}{d_y^2}$$

Количество же шаровых частиц, которые находятся в этом объеме

$$n_{\text{действ}} = \frac{2(3R_g^2 + 3R_g \cdot d_y \cdot \text{tg} \alpha + d_y^2 \cdot \text{tg}^2 \alpha) \cdot \rho}{d_y^2 \cdot \eta}, \tag{1}$$

где  $\rho$  — насыпная плотность шаровых частиц в объеме ABCD, кг/м<sup>3</sup>;

$\eta$  — плотность отдельной шаровой частицы, кг/м<sup>3</sup>.

Тогда, дефицит этих частиц в данном объеме

$$n_{\text{деф}} = n_{\text{возм}} - n_{\text{действ}} = \frac{2(3R_g^2 + 3R_g \cdot d_y \cdot \text{tg} \alpha + d_y^2 \cdot \text{tg}^2 \alpha)}{d_y^2} \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\eta}\right).$$

Отсюда следует, что относительная скважность слоя шаровых частиц в долях единицы

$$C = \frac{n_{\text{деф}}}{n_{\text{возм}}} = 1 - \frac{\rho}{\eta}. \tag{2}$$

Из выражения (2.22) следует, что относительная скважность выходящего из бункера потока дискретных частиц не зависит ни от формы бункера, ни от его конструктивных параметров, а зависит лишь от насыпной плотности сыпучего и плотности его дискретных частиц (рисунки 4 и 5).

При этом, всегда  $\rho \leq \eta$ .

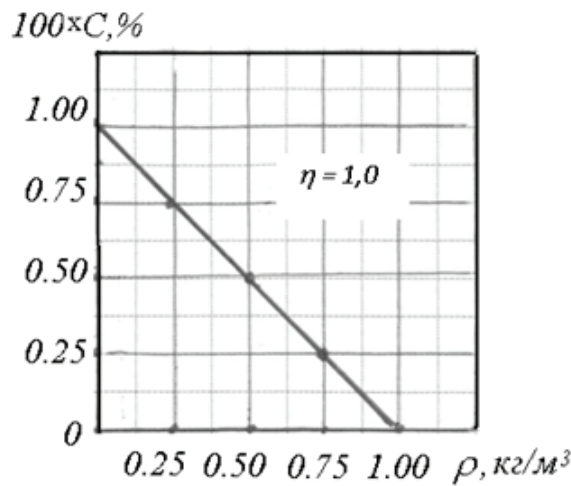


Рис. 4. График функции  $C=f(\rho)$  при  $h=1,0$

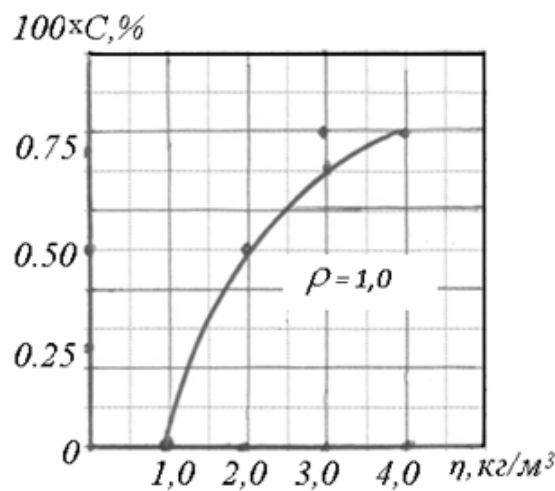


Рис. 5. График функции  $C=j(\eta)$  при  $r=1,0$

В связи с этим

$$q_{np} = \pi R_0^2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot R_0}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_0}} \cdot \frac{\rho}{\eta}; \quad (3)$$

$$q_{np} = 2l \cdot R_0 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot R_0}{\operatorname{tg} \alpha_0}} \cdot \frac{\rho}{\eta} \quad (4)$$

Из них следует, что график функции  $q_{np} = \varphi(\rho)$  при  $\eta = \text{const}$  — линейен, а график функции  $q_{np} = \varphi(\eta)$  при  $\rho = \text{const}$  представляет собой параболу. При этом, всегда  $\rho \leq \eta$ .

В бункерах наибольшего расхода сыпучих материалов его расходы через любое его поперечное сечение равны. Следовательно, указанные функции можно записать в виде:

$$q_{np} = \pi R_6^2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot R_6}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha'_0}} \cdot \frac{\rho}{\eta}; \quad (5)$$

$$q_{np} = 2l \cdot R_6 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot R_6}{\operatorname{tg} \alpha'_0}} \cdot \frac{\rho}{\eta} \quad (6)$$

где  $R_6$  — размер выпускного отверстия бункера (для конического — радиус; для щелевого — половина ширины его щели), м;

$\alpha'_0$  — направляющий угол кривой продольного сечения бункера на уровне плоскости его выпускного отверстия, град. Этот угол для гидравлического вида истечения сыпучего материала определяется из условия

$$\alpha'_0 \leq 90^\circ - (\beta - \psi - \phi), \quad (7)$$

где  $\beta$  — угол укладки частиц сыпучего в объеме бункера, град;

$\psi$  — угол внутреннего трения частиц сыпучего материала, град;

$\phi$  — угол трения между потоком частиц и стенкой бункера (внешний угол трения потока частиц о стенку бункера), град.

Как правило, величина угла  $\beta$  выбирается исходя из плотной (тетраэдральной) укладки зерновок в объеме бункере. По данным исследований В.А. Богомягих он равен  $29^\circ 40'$ . Угол же  $\alpha'_0$ , как показали исследования Л.В. Гячева и производственный опыт функционирования бункеров с криволинейными образующими их стенок, находится в диапазоне от  $5^\circ$  до  $18^\circ$ . [2, 3]

Литература:

1. Богомягих, В.А. Интенсификация разгрузки бункерных устройств в условиях сводообразования зернистых материалов / В.А. Богомягих, А.П. Пепчук. — Зерноград: ВНИИПТИМЭСХ, 1995. — 162 с.
2. Гячев, Л.В. Основы теории бункеров / Л.В. Гячев. — Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета, 1992. — 310 с.
3. Богомягих, В.А. К вопросу образования сводов в бункерах при истечении зернистого материала // В.кн.: Механика сыпучих материалов: Тез. докл. Всесоюз. конф. — Одесса—1971. — 119с.

## Исследование влияния подачи воздуха на потери котельного агрегата

Степанова Ольга Александровна, кандидат технических наук, доцент;  
 Ермоленко Михаил Вячеславович, кандидат технических наук, доцент;  
 Жумажан Серикбол Калыбекулы, студент;  
 Литвинчук Андрей Викторович, студент;  
 Должиков Сергей Александрович, студент  
 Государственный университет имени Шакарима (г. Семей, Казахстан)

В статье рассматривается влияние подачи воздуха на величину механических потерь и содержание горючих в уносе.

**Ключевые слова:** котельный агрегат, механический недожог, потери, горючие в уносе, горючие в шлаке.

Казахстан входит в десятку мировых стран, которые являются лидерами по углепромышленным показателям. По данным Мирового угольного института на долю

угля приходится около 90% энергетического потенциала всех пригодных для разработки полезных ископаемых органического происхождения. Среди стран СНГ Казахстан

занимает третье место по запасам и добыче угля и первое место — по добыче угля на душу населения [1].

Угольная промышленность — одна из важнейших ресурсных отраслей Республики Казахстан. В Казахстане представлены все основные сегменты угольной промышленности, однако особенно развиты добыча и использование энергетического угля. Добыча энергетического угля в Республике Казахстан стабильно росла в последние годы со средним темпом 2%. Основная доля добываемого энергетического угля идет на нужды электроэнергетической отрасли Республики Казахстан и на экспорт (51% и 31% соответственно), остальной объем — на коммунально-бытовые нужды населения и на промышленные предприятия (13% и 5% соответственно). Ресурсная база энергетического угля характеризуется значительным объемом запасов (порядка 29,2 млрд. тонн), однако отличается высоким содержанием золы и относительно низкой теплотворностью. Ресурсная база угля в Республике Казахстан не является ограничением для развития угольной промышленности в долгосрочной перспективе. Запасов как энергетического, так и коксующегося угля будет достаточно в течение сотен лет, даже при активном наращивании добычи.

Основная цель развития угольной промышленности в Республике Казахстан — повышение эффективности использования ресурсной базы угля для обеспечения потребностей внутреннего рынка топливно-энергетических ресурсов и повышения экологичности отрасли в целом. Угольные ТЭЦ и котельные являются одними из основных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Обоснованность принятия тех или иных управленческих решений по расширению, строительству и реконструкции в обязательном порядке должна сопровождаться мероприятиями по снижению вредного воздействия на окружающую среду [2, 3].

Цель исследования — установление закономерности влияния подачи воздуха на потери котельного агрегата.

Задачи:

- определение потерь от механического недожога;
- определение содержания горючих в шлаке и уносе.

Объект исследования. Процесс горения угля разреза Каражыра марки Д в котле КВ-Т-116,3—150.

Предмет исследования. Влияние подачи воздуха на процесс выгорания топлива.

Котел оборудован четырьмя индивидуальными системами пылеприготовления с прямым вдуванием. Топливо из бункеров сырого угля шнековыми питателями подается в четыре молотковые мельницы типа ММТ 1300/1310/750К, каждая расчетной размольной производительностью по каменному углю марки Д разреза Каражыра 6,5 т/ч. Сушка угля производится смесью горячего воздуха после воздухоподогревателя и рециркулирующих дымовых газов отбираемых за дымососами. После каждой мельницы пылегазовоздушная смесь поступает в центробежный сепаратор. После сепаратора пылегазовоздушная смесь поступает в пыледелитель, откуда по пылепроводам в две диагонально расположенные горелки (рисунок 1).

Параметры котельного агрегата, необходимые для расчета, регистрировали стационарными приборами.

Анализ проб топлива и очаговых остатков проводили по общепринятым методикам [4, 5, 6].

Испытания котла проводились по двум направлениям:

- первое, испытание без регулирующих заслонок расхода первичного воздуха;
- второе, испытание с установленными заслонками для регулирования расхода первичного воздуха.

Результаты исследования. На рисунке 2 показаны потери теплоты от механического недожога  $q_4$  в зависимости от теплопроизводительности котла.

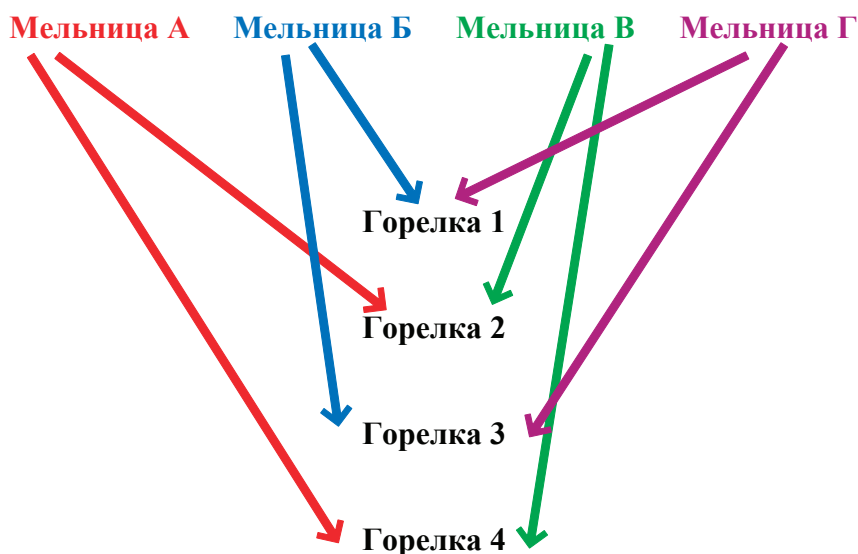


Рис. 1. Распределение пылегазовоздушной смеси



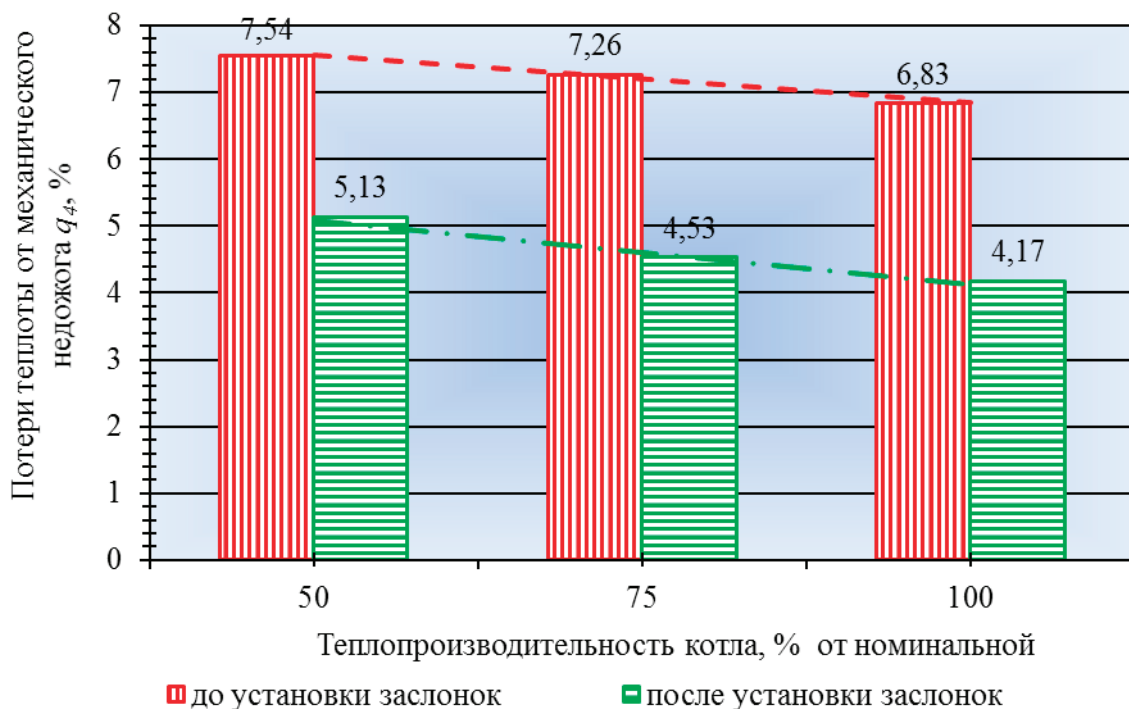


Рис. 2. Потери теплоты от механического недожога в зависимости от теплопроизводительности котла

Регулирующие заслонки для подачи первичного воздуха были установлены на пылепроводе мельницы «А», идущего к горелке 4, на пылепроводе мельницы «Г», идущего к горелке 1, на пылепроводе мельницы «Б», идущего к горелке 1.

Результаты исследований показали снижение потерь теплоты от механического недожога при установлении регулирующих заслонок для подачи первичного воздуха, так же наблюдается снижение потерь теплоты от механиче-

ского недожога с ростом теплопроизводительности. Снижение механического недожога уменьшает зашлакованность топочного пространства.

На рисунке 3 показаны результаты исследований по содержанию горючих в шлаке  $\Gamma_{шл}$  в зависимости от теплопроизводительности котла. Наблюдается снижение содержания горючих в шлаке при установлении регулирующих заслонок, что объясняется уменьшением потерь от механического недожога.

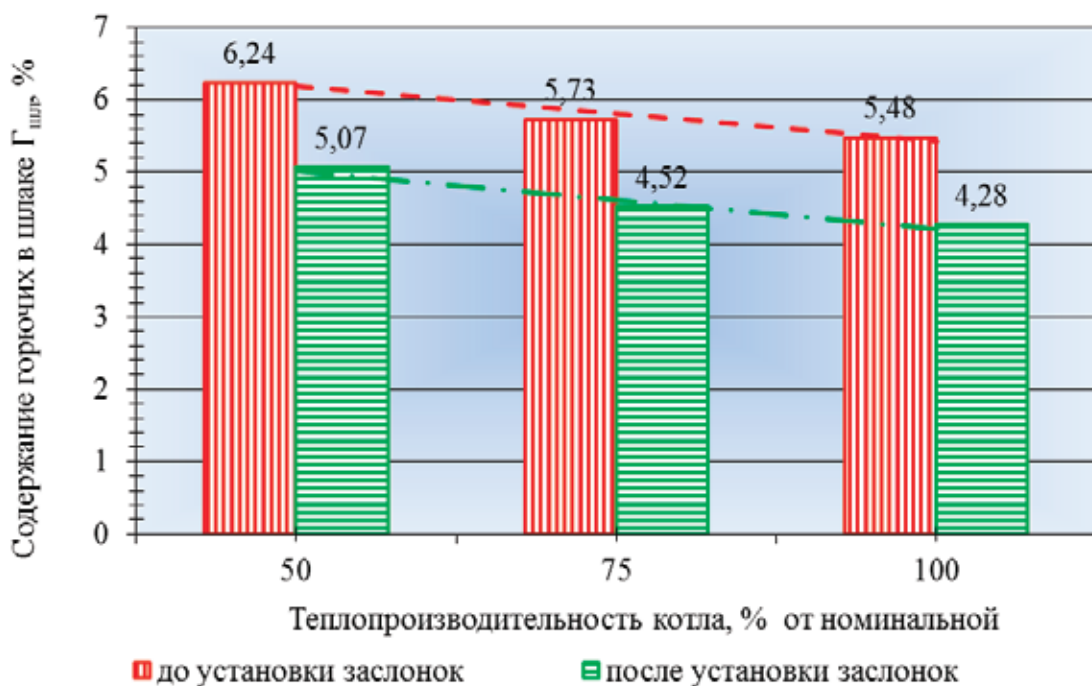


Рис. 3. Содержание горючих в шлаке в зависимости от теплопроизводительности котла

На рисунке 4 показаны результаты исследований по содержанию горючих в уносе  $\Gamma_{ун}$  в зависимости от теплопроизводительности. Наблюдается снижение горючих в уносе с ростом производительности и при установлении

регулирующих заслонок. Что объясняется уменьшением механического недожога и более равномерным распределением воздуха.

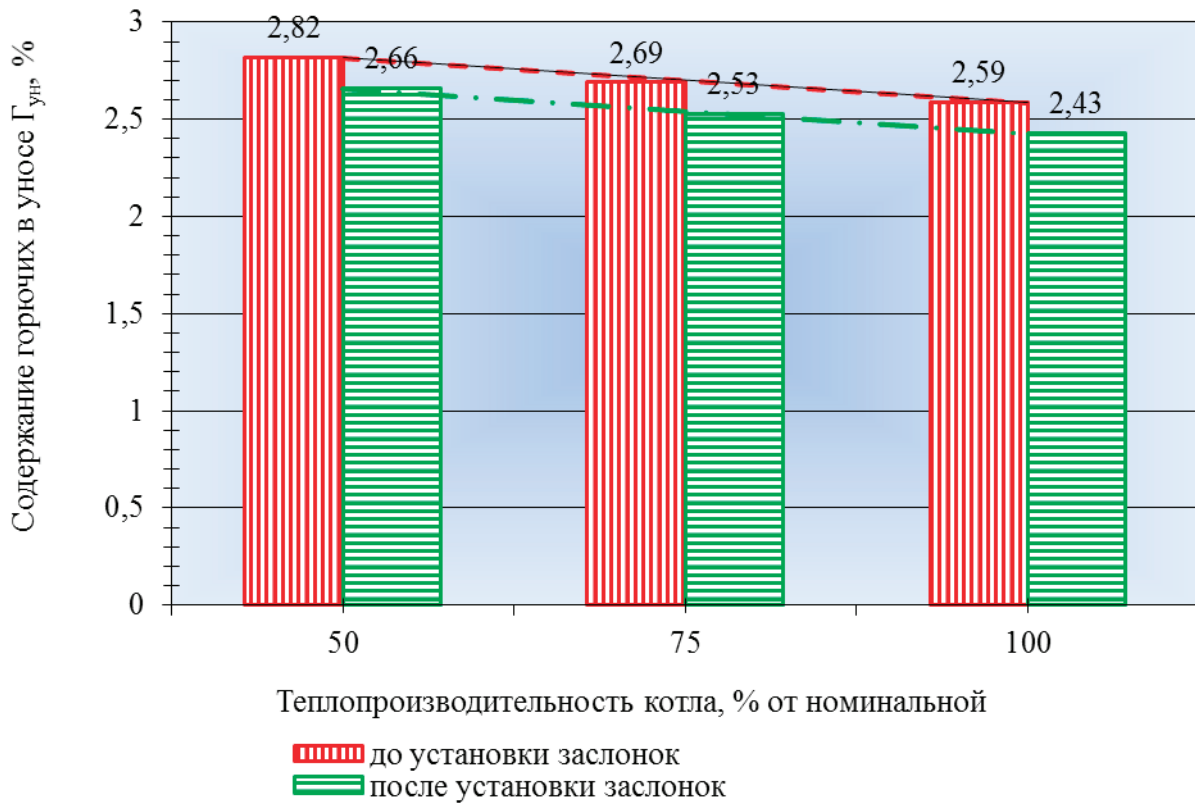


Рис.4. Содержание горючих в уносе в зависимости от теплопроизводительности

Результаты исследований были обработаны на ПЭВМ с помощью Excel. Проведенный сравнительный анализ (нахождение уравнений регрессии с помощью различных функций) показал, что исследуемые показатели описываются линейной функцией. При этом коэффициент де-

терминации  $R^2$  выше 0,9 для всех рассматриваемых величин, что, с точки зрения теории статистики, говорит о достаточно высокой достоверности полученных уравнений.

В таблице 1 представлены полученные уравнения.

Таблица 1. Аналитические зависимости исследуемых величин

Аналитические зависимости	
без регулирующих заслонок	с регулируемыми заслонками
зависимость потерь теплоты от механического недожога $q_4, \%$ , от теплопроизводительности	
$q_4 = -0,355Q + 7,92$ (1)	$q_4 = -0,48Q + 5,57$ (2)
зависимость содержания горючих в шлаке $\Gamma_{шл}, \%$ , от теплопроизводительности	
$\Gamma_{шл} = -0,38Q + 6,5767$ (3)	$\Gamma_{шл} = -0,395Q + 5,4133$ (4)
зависимость содержания горючих в уносе $\Gamma_{ун}, \%$ , от теплопроизводительности	
$\Gamma_{ун} = -0,115Q + 2,93$ (5)	$\Gamma_{ун} = -0,115Q + 2,71$ (6)

Результаты. В результате проведенных исследований, проводимых при сжигания угля разреза Каражыра марки Д, получены следующие результаты:

– определены потери теплоты от механического недожога, показано, что в результате установки регулирующих заслонок для подачи первичного воздуха, наблюдается снижение этих потерь, так при максимальной нагрузке котельного агрегата уменьшение потерь от механического недожога более 2%;

– определено содержание горючих в шлаке, отмечено уменьшение горючих в шлаке при установке регулирующих заслонок (при максимальной нагрузке котельного агрегата снижение происходит от 5,48% до 4,28%), содержание горючих в уносе также уменьшается при установке заслонок, данное снижение можно объяснить уменьшением, как механического недожога, так и более равномерного распределения воздуха.

Литература:

1. Угольная промышленность Казахстана // Компания «Юна LTD» URL: <http://una.kz/company/news/otkryitie-kluba-modx-v-minske> (дата обращения: 21.11.2014).
2. Концепция развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года. Утверждено постановлением Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2014 года № 724.
3. Ревич, Б. А. К оценке влияния деятельности ТЭК на качество окружающей среды и здоровье населения. «Проблемы прогнозирования», 2010, № 4. — с. 87–99.
4. Григорьев, К. А., Рундыгин Ю. А., Тринченко А. А. Технология сжигания органических топлив. Энергетические топлива. СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2006. — 92 с.
5. Трёмбовля, В. И. и др. Теплотехнические испытания котельных установок /В. И. Трёмбовля, Е. Д. Фигнер, А. А. Авдеева. — 1991. — 416 с.
6. Гатеев, С. Б. Теплотехнические испытания котельных установок (промышленных предприятий). — М.: Госэнергоиздат, 1959. — 600 с.

## Сравнительный анализ принципов построения отечественных и зарубежных систем навигации подвижных наземных объектов

Сурков Владимир Олегович, аспирант  
Тамбовский государственный технический университет

*В статье дан сравнительный анализ принципов построения систем навигации подвижных наземных объектов. Принципы построения систем иностранного производства имеют некоторые отличия, такие как использование дифференциального режима работы спутниковой радионавигационной системы. Системы построенные на основе данных принципов не позволяют обеспечить необходимую точность данных при пропадании сигналов спутниковой радионавигационной системы. Поэтому предложены новые принципы построения навигационных систем исходя из особенностей построения данных систем.*

Система навигации подвижных наземных объектов (ПНО) решает задачи определения координат местоположения, параметров движения и углов ориентации подвижного объекта и обеспечивает выдачу следующих данных: горизонтальных координат (координат), высоты, путевой скорости, углов ориентации (крена, курса, тангажа).

Обобщенная структурная схема навигационной системы ПНО отечественного производства представлена на рисунке 1.

Системы навигации ПНО отечественного производства строятся с использованием следующих принципов:

1. Принципов комплексирования измерителей. Сущность комплексирования состоит в использовании инфор-

мации об одних и тех же или функционально связанных параметрах, полученных от различных измерителей, для повышения точности и надежности определения навигационных параметров. Все рассмотренные в статье [1] системы навигации являются комплексными.

2. В состав навигационной системы входят как радиотехнические так и нерадитехнические измерители. Нерадитехнические измерители — измерители системы, работающие без сигналов от внешних источников. Основное их назначение — определение координат, параметров движения и пространственного положения продольных осей объекта. Среди главных достоинств данных измерителей следует отметить автономность действия и высокую помехозащищенность. Недостатком является



Рис. 1. Структурная схема системы навигации для ПНО отечественного производства

малая для большинства измерителей точность измерения навигационных параметров по сравнению с радиотехническими измерителями.

В качестве измерителей могут быть использованы следующие устройства:

- измеритель угловой скорости — датчик угловой скорости (система «КомпаНав-3»), волоконно-оптический (система «БИНС-Тек»);
- измеритель ускорения — датчик линейных ускорений (система «КомпаНав-2Т»);
- измеритель магнитного поля Земли: 3-осный магнитометр (система «КомпаНав-2М»);
- измеритель скорости, выполненный в виде механического («Гамма — 1») или доплеровского датчика скорости («ГАЛС — Д2М»);
- измеритель высоты — барометрический высотомер (система «КомпаНав-3»);
- измеритель пройденного пути, который может выполняться в виде одометра (система «БИНС-Тек», «Азимут»).

Одно из назначений радиотехнических измерителей — коррекция данных полученных от нерадиотехнических измерителей для повышения точности показаний навигационной систем.

В качестве радиотехнической системы коррекции обычно используется приемник спутниковой навигационной системы (СРНС) (ГЛОНАСС/GPS) и радиотехнические системы дальней навигации «Чайка» и «ЛО-RAN-C», входящие в состав системы «ОРИЕНТИР» и КС-100М.

3. Для разработки алгоритмов обработки информации в навигационных системах используются методы

оптимальной линейной фильтрации (фильтр Калмана — Бьюси) [2].

Системы навигации ПНО иностранного производства имеют следующую структурную схему, представленную на рисунке 2.

Строятся данные системы на аналогичных принципах построения, что и навигационные системы отечественного производства, но с небольшими отличиями:

1. В качестве основного радиотехнического измерителя используется приемник СРНС.
2. Для повышения точности данных, полученных от приемника СРНС, используется дифференциальный режим работы СРНС. Дифференциальный режим включает в себя получение данных от СРНС, получение дифференциальных поправок от систем дифференциальной коррекции, их обработку и выдачу данных потребителю. Одно из назначений дифференциального режима работы состоит в повышении точности данных полученных от приемника СРНС.

Для обеспечения дифференциального режима работы СРНС в навигационных системах иностранного производства используется соответствующее программное обеспечение, например TheSplitBox для системы Ekipox-N. В данном программном обеспечении осуществляется обработка данных как от датчиков входящих в состав системы, так и от систем дифференциальной коррекции и их обработку.

Так как в состав большинства современных систем навигации для ПНО входит СРНС [3], и пропадание данных от СРНС приводит к значительному росту погрешностей в определении местоположения. Полученные в данном случае значения не соответствуют требуемым значениям, приведенным в [4]. Системы построенные по при-



Рис. 2. Структурная схема системы навигации для ПНО иностранного производства

веденным выше принципам не позволяют обеспечить данные требования при пропадании сигналов от СРНС, поэтому появляется необходимость применения различных методов контроля состояния приемника СРНС, с помощью которых возможно будет определить факт наличия или отсутствия сигнала на входе приемника и методов реконфигурации структуры системы. Применяемые в качестве основных методов обработки информации методы калмановской фильтрации не дают возможности реализовать данный контроль, что является одним из их недостатков. Он заключается в том, что методы калмановской фильтрации эффективны лишь при наличии выходных сигналов с датчиков, то есть исправной работе датчиков, входящих в состав навигационной системы.

Для контроля технического состояния тех или иных датчиков нашли применение и различные методы, основанные на анализе невязки измерений и методы анализа изменения, оцениваемых компонент вектора состояния во времени (выявление резких скачков значений оцениваемых параметров и выхода значений оцениваемых параметров за пределы допустимых коридоров) [5–7]. Данные методы не позволяют определить факт наличия или отсутствия сигнала на входе приемника СРНС, но позволяют контролировать полученные данные от приемника СРНС.

Литература:

1. Сурков, В. О. Анализ состава существующих систем навигации для подвижных наземных объектов и выбор наиболее перспективного состава, исходя из требований точности и надежности / В. О. Сурков // Современные тенденции технических наук: материалы II междунар. науч. конф. (г. Уфа, май 2013 г.). — Уфа: Лето, 2013. — с. 20–24.

Таким образом, для повышения качества работы необходимы методы первичной обработки в навигационных системах подвижных наземных объектов.

Сформулируем принципы построения навигационных систем ПНО с учетом приведенного выше

1. В состав навигационной системы должны входить как радиотехнические так и нерадиотехнические измерители;
2. Строится система должна с использованием принципов комплексирования измерителей;
3. Для повышения точности данных, полученных от приемника СРНС, необходимо использование дифференциального режима работы СРНС;
4. Для контроля, диагностики и обработки данных радиотехнических измерителей необходимо применение алгоритмов построенных с использованием методов марковской теории оценивания случайных процессов, которые позволяют определить факт наличия или отсутствия сигналов на входе радиотехнических систем, таких как СРНС, системы сотовой связи, радиотехнические системы дальней навигации.
5. Для устранения последствий от пропадания сигналов СРНС необходимо применение алгоритмов позволяющих производить реконфигурацию системы.



- Иванов, А. В. Навигация наземных объектов / А. В. Иванов, Н. А. Иванова. — LAPLAMBERTAcademicPublishing, 2013. — 120 с.
- Сурков, В. О. Системы навигации подвижных наземных объектов и их характеристики / В. О. Сурков // Молодой ученый. — 2013. — № 7. — с. 76–79.
- Радионавигационный план Рос. Федерации: утв. приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 2 сентября 2008 г. № 118; в редакции приказа Министерства промышленности и торговли РФ от 31 августа 2011 г. № 1177. [Электронный ресурс]. Доступ из справ. — правовой системы «КонсультантПлюс».
- Иванов, А. В. Комплексные оптимальные алгоритмы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов / А. В. Иванов // Радиотехника. — 2010. — № 5. — с. 12–17.
- Иванов, А. В. Автономные системы контроля целостности навигационных данных спутниковых радионавигационных систем / А. В. Иванов // Радиотехника. — 2014. — № 7. — с. 56–64.
- Иванов, А. В. Алгоритмы обработки информации в навигационных системах наземных подвижных объектов с контролем целостности навигационных данных спутниковых радионавигационных систем / А. В. Иванов, Д. В. Комраков, В. О. Сурков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. — 2014. — № 52. — с. 53–58.

## Методы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов

Сурков Владимир Олегович, аспирант  
Тамбовский государственный технический университет

*В статье описаны методы обработки информации, используемые в навигационных системах подвижных наземных объектов. Перечисляются методы обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов и их недостатки. В качестве нового метода предлагается использовать методы позволяющие установить факт наличия или отсутствия сигналов на входе радиотехнических систем входящих в состав навигационной системы для подвижных наземных объектов — методы марковской теории оценивания случайных процессов.*

### Введение

Система навигации подвижных наземных объектов (ПНО) решает задачи определения координат местоположения, параметров движения и углов ориентации подвижного объекта и выдачу необходимой информации. В статьях [1–2] производится обзор существующих навигационных систем, как военного, так и гражданского применения. В них подробно рассматривается работа некоторых датчиков, методы обработки информации в данных системах и сравниваются значения погрешностей в определении курса. В статье [3] дается анализ систем навигации отечественного и иностранного производства с указанием оптимального режима работы систем и без сравнения представленных точностных характеристик между собой без указания методов обработки информации. В [4] описываются методы определения местоположения подвижных объектов.

Однако описание методов обработки информации навигационных систем для ПНО и их анализ в литературе не встречается. Целью статьи описание методов обработки информации навигационных систем для ПНО и их анализ.

Обычно под термином навигационная система принято понимать совокупность приборов, алгоритмов и программного обеспечения, позволяющих произвести ориентирование объекта в пространстве. Навигационные системы можно разделить на множество категорий в зависимости от назначения, объема получаемой навигационной информации и используемых методов навигации. Система навигации подвижных наземных объектов (ПНО) решает задачи определения координат местоположения, параметров движения и углов ориентации подвижного объекта и обеспечивает выдачу следующих данных: координаты местоположения в заданной системе координат, вектор скорости, углы ориентации (крен, курс, тангаж), вектор угловой скорости, вектор ускорения.

Точностные характеристики систем навигации для ПНО зависят от режима работы, состава данных систем и программного обеспечения применяемого для обработки информации и контроля целостности системы.

Наиболее перспективным для навигационных систем ПНО можно считать состав, представленный в статье [5], включающий бесплатформенную инерциальную навигационную систему, спутниковые радиона-

вигационные системы (СРНС), системы сотовой связи и другие дополнительные датчики. Данный состав был предложен исходя из анализа состава существующих навигационных систем в настоящее время и представлен на рисунке 1.

Основным алгоритмом обработки информации в навигационных системах подвижных наземных объектов является оптимальный алгоритм оценивания, базирующийся на дифференциальных или разностных уравнениях, полученных на основе методов калмановской фильтрации. Это проиллюстрировано в статьях [6,7] и приведены примеры навигационных систем.

Так как в состав большинства современных систем навигации для ПНО входит СРНС [8], и пропадание данных от СРНС приводит к значительному росту погрешностей в определении местоположения. Полученные в данном случае значения не соответствуют требуемым значениям, приведенным в [9], поэтому появляется необходимость применения различных методов контроля состояния приемника СРНС, с помощью которых возможно будет определить факт наличия или отсутствия сигнала на входе приемника. Применяемые в качестве основных методов обработки информации методов калмановской фильтрации не дает возможности реализовать данный контроль, что является одним из их недостатков. Он заключается в том, что методы калмановской фильтрации

эффективны лишь при наличии выходных сигналов с датчиков, то есть исправной работе датчиков, входящих в состав навигационной системы.

Для контроля технического состояния тех или иных датчиков нашли применение и различные методы, основанные на анализе невязки измерений и методы анализа изменения оцениваемых компонент вектора состояния во времени (выявление резких скачков значений оцениваемых параметров и выхода значений оцениваемых параметров за пределы допустимых коридоров). Данные методы не позволяют определить факт наличия или отсутствия сигнала на входе приемника СРНС, но позволяют контролировать полученные данные от приемника СРНС.

Таким образом, для повышения качества работы необходимы методы первичной обработки в навигационных системах подвижных наземных объектов. В качестве данных методов могут быть использованы методы марковской теории оценивания случайных процессов, которые позволяют определить факт наличия или отсутствия сигналов на входе радиотехнических систем, таких как СРНС, системы сотовой связи, радиотехнические системы дальней навигации.

Алгоритмы данного типа в дальнейшем могут стать основой систем не только с возможностью контроля и диагностики элементов системы, но и с возможностью последующей реконфигурации структуры.



Рис. 1. Наиболее перспективный состав системы навигации для ПНО

Литература:

1. Комраков, Д. В. Навигационные комплексы наземных мобильных средств / Д. В. Комраков // Технические науки: теория и практика: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Чита, апрель 2012 г.). — Чита: Издательство Молодой ученый, 2012. — с. 47–49.
2. А. В. Журавлев, В. М. Безмага. Навигационные комплексы наземных мобильных средств // Новости навигации — 2009 — № 1 — с. 29–36.
3. Петров, Н. Н. Системы и комплексы технических средств местоопределения подвижных объектов // Специальная техника. — 1998. — № 3. — с. 7–11.
4. Сурков, В. О. Системы навигации подвижных наземных объектов и их характеристики / В. О. Сурков // Молодой ученый. — 2013. — № 7. — с. 76–79.
5. Сурков, В. О. Анализ состава существующих систем навигации для подвижных наземных объектов и выбор наиболее перспективного состава, исходя из требований точности и надежности / В. О. Сурков // Современные тенденции технических наук: материалы II междунар. науч. конф. (г. Уфа, май 2013 г.). — Уфа: Лето, 2013. — с. 20–24.
6. Сурков, В. О. Системы навигации подвижных наземных объектов и их характеристики / В. О. Сурков // Молодой ученый. — 2015. — № 9. — с. 298–302.
7. Сурков, В. О. Навигационные системы подвижных наземных объектов и их характеристики / В. О. Сурков // Магистратура ТГТУ. — 2012. — № 27. — с. 105–109.
8. Сурков, В. О. Анализ состава навигационных систем для подвижных наземных объектов и принципов их построения / В. О. Сурков // Технические науки: традиции и инновации: материалы II междунар. науч. конф. (г. Челябинск, октябрь 2013 г.). — Челябинск: Два комсомольца, 2013. — с. 34–37.
9. Радионавигационный план Рос. Федерации: утв. приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 2 сентября 2008 г. № 118; в редакции приказа Министерства промышленности и торговли РФ от 31 августа 2011 г. № 1177. [Электронный ресурс]. Доступ из справ. — правовой системы «КонсультантПлюс».

## Снижение энергоёмкости систем увлажнения вентиляционного воздуха в плодоовощехранилищах с применением возобновляемых источников энергии

Узаков Гулом Норбоевич, кандидат технических наук, доцент;

Рузикулов Гулом, ассистент, соискатель;

Алиярова Лола Абдужаббаровна, ассистент, соискатель;

Узакова Юлдуз Гуламовна, соискатель

Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Одним из важнейших направлений в сельскохозяйственном производстве является выращивание и низкотемпературное хранение плодоовощных продуктов, которая объединяет огромное количество теплофизических и технологических процессов. Длительное хранение плодоовощных продуктов с наименьшими потерями и затратами энергии, а также круглогодичное обеспечение населения свежими продуктами питания является актуальной научно-технической и социально-экономической задачей. Обеспечение продовольственной безопасности любой страны имеет весьма большое значение в условиях продолжающихся всеобщего мирового финансово-экономического кризиса.

В настоящее время в Узбекистане ежегодно производится около 16 миллионов тонн плодоовощной продукции (ПОП), на душу населения обеспечено производство около 300 килограммов овощей, 75 килограммов картофеля и 44 килограмма винограда, что примерно в три раза

превышает оптимальные нормы потребления. Всего в настоящее время в нашей республике имеется более 1300 хранилищ мощностью свыше 630 тысяч тонн, в которые ежегодно осуществляется закладка основных видов ПОП. В целях дальнейшего укрепления продовольственной безопасности и самообеспеченности республики основными видами продуктов питания в 2015 году предусматривается строительство более 2 тысяч холодильных камер.

В рамках Постановления Кабинета Министров Республики Узбекистан «О мерах по развитию и укреплению материально — технической базы хранения плодоовощной продукции на период 2011–2015 годы» от 7 апреля 2011 года построены современные энергоэффективные холодильники вместимостью 3000 тонн и модернизированы холодильные камеры для длительного хранения ПОП. В настоящее время важной задачей является разработка и исследование новых энергосберегающих технологий и технических средств, способных сократить до

минимума потери ПОП при хранении и снижения энергоёмкости технологических процессов в плодоовощных холодильных камерах.

В соответствии с Постановлением Президента Республики Узбекистан от 5 мая 2015 года № ПП-2343 «О программе сокращения энергоёмкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015–2019 годы» поставлены задачи, по определению приоритетных направлений дальнейшего сокращения энергоёмкости, внедрения энергосберегающих технологий и систем в отраслях экономики, ускоренное развитие использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в том числе апробированных технологий использования солнечной энергии [1].

В Узбекистане также с учетом высоких опережающих темпов развития экономики и потребности в энергии ведутся огромные работы по разработки и внедрению ВИЭ в различных отраслях народного хозяйства. В связи с этим для дальнейшего развития использования альтернативных источников энергии (АИЭ), которые Узбекистан располагает богатыми ресурсами, Президентом нашей страны принят Указ «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии» УП-4512 от 01.03.2013 г. [2].

Современные плодоовощехранилища, как биоэнергетический объект с системами теплоснабжения, вентиляции и увлажнения воздуха являются одним из крупнейших потребителей топливно-энергетических ресурсов, в том числе электрической энергии, которая часто используется нерационально. Увлажнение приточного вентиляционного воздуха (ПВВ) — важнейший технологический процесс, в высокой степени определяющий сохранность сельскохозяйственной продукции при хранении. Энергоёмкость процесса увлажнения ВП, главным образом, зависит от применяемого оборудования для получения увлажнительного агента (УА). Как правило, для генерирования УА в плодоовощехранилищах применяют аппараты трёх типов: механические распылители жидкости (дисковые или ротационные), паровые увлажнители (парогенераторы) и испарительные («сотовые») увлажнители. Каждый из перечисленных типов увлажнительных аппаратов имеет свои достоинства, однако общим недостатком их применения является повышенная энергоёмкость процесса увлажнения. Однако, поддержание высокой относительной влажности воздуха в плодоовощных холодильных камерах требует искусственное увлажнение ПВВ, при этом необходимо подавать на 1 тонну ПОП более 80–100 м<sup>3</sup> увлажненного воздуха. Проведенные исследования в южных районах Республики показывают, что на каждый килоджоуль удаляемого из камеры хранения необходимо подать примерно 1,2–1,5 литр воды [3].

При хранении плодоовощных продуктов (ПОП) в хранилищах требуется поддерживать оптимальную низкую температуру (но выше криоскопической температуры) и высокой относительной влажности воздуха (80–95%). При хранении 1 тонну картофеля в лечебный период (15

суток) выделяется 18–20 Вт тепла, в период охлаждения (30 суток) 14–16 Вт, а в период хранения (175 суток) 6,6–8,0 Вт. Общие тепловыделения 1 т картофеля за сезон с учетом теплоту дыхания составляет 160,2 мДж. Картофель при загрузке содержит значительное количество аккумулированного тепло, если его первоначальная температура 15<sup>0</sup>С, то для ее снижения до 3<sup>0</sup>С из 1 тонн продукции необходимо удалить:

$$Q = C_p m (t_1 - t_2) = 41,7 \text{ мДж тепла.}$$

где,  $C_p = 3,48 \text{ кДж/ (кг.к)}$  — удельная теплоёмкость картофеля.

Таким образом, общее количество удаляемого тепло из насыпи ПОП примерно составит  $160,2 + 41,7 = 202 \text{ мДж}$ .

Тогда при хранении 1 т картофеля за 220 суток при удалении 202000 КДж тепло активным вентилированием воздуха, требуется  $W = 137\,667 \text{ кг}$  вода, в сутки примерно 600 литров.

Анализ работы систем увлажнения приточного воздуха в плодоовощехранилищах показывают, что доувлажнение воздуха требует большие энергетические затраты, кроме этого при обработке воздуха паром несколько повышается его температура что нежелательно, особенно в режиме охлаждения камеры.

Энергоёмкость (Е) систем увлажнения ПВВ может быть определено как величина, равная отношению суммарной электрической мощности (N) приборов и устройств, входящих в систему увлажнения, к общей производительности системы увлажнения:

$$E = \frac{N_{\text{вент}} + N_{\text{вн}}}{W}; \quad (1)$$

где  $N_{\text{вент}}$  — электрическая мощность вентиляторов, кВт;  $N_{\text{вн}}$  — электрическая мощность водонагревателя, кВт; Как видно, из формулы (1) основным составляющим энергоёмкости является расход электрической энергии на нагрев воды.

Энергоёмкость водонагревателя  $E_{\text{вн}}$  опреляется по следующей формуле:

$$E_{\text{вн}} = \frac{N_{\text{вк}}}{W} = \frac{w \cdot C_p (t_2 - t_1) / \eta_{\text{вн}}}{w} \cdot \frac{c_p (t_2 - t_1)}{\eta_{\text{вн}}}; \quad (2)$$

где,  $t_1$  — температура холодной воды,  $t_1 = 16 \div 20^{\circ}\text{C}$ ;  $t_2$  — температура подогретой воды,  $t_2 = 35 \div 40^{\circ}\text{C}$ .

При электрическом обогреве энергоёмкость процесса нагрева увлажняющий воды до 40 С<sup>0</sup> составляет:

$$E_{\text{вн}} = 88,21 \text{ кДж/кг или } E_{\text{вн}} = 0,025 \frac{\text{кВт} \cdot \text{час}}{\text{кг}}$$

В результате анализа существующих методов и средств увлажнения ПВВ нами разработана энергосберегающая установка увлажнения воздуха в плодоовощехранилищах с использованием низкопотенциальных солнечных установок (Рис.1). Установка предназначена для увлажнения воздуха и распыления различных технологических процессов в сельскохозяйственных помещениях, на предпри-

иятиях полиграфической, деревообрабатывающей, текстильной промышленности, плодоовощехранилищах т.е. везде, где необходимо поддерживать постоянную влажность. Разработанная установка состоит из бака холодной воды, водораспылительных форсунок, трубопроводов холодной и подогретой воды, регулирующих клапанов, плоского солнечного коллектора и дублирующего электронагревателя (ТЭН). Предложенная установка обеспечить подогреть воды с использованием солнечной энергии. Подогретая вода с температурой  $40^{\circ}\text{C}$  лучше поглощается воздухом. Создана экспериментальная установка и определены основные технико-технологические параметры. Плоский солнечный коллектор (солнечный водонагреватель) с облучаемой площадью  $1,5\text{ м}^2$  при средней суммарной солнечной радиации  $700\text{ Вт/м}^2$  позволяет экономить  $37,8\text{ МДж/день}$  тепла или  $1,29\text{ кг}$  условного топлива в день в условиях города Карши. К. П. Д. солнечного водонагревателя —  $\eta = 0,7$ ; коэффициент пропускания солнечных лучей —  $0,8$  (для стекло). Ниже приведены основные параметры предложенной установки.

#### Технико-технологические параметры:

1. Расход воды на одну форсунку —  $G_{\text{ф}}^{\text{ф}} = 5\text{ л/час}$ ;
2. Начальная температура воды —  $t_1 = 16 \div 20^{\circ}\text{C}$ ;
3. Расход сжатого воздуха —  $G_{\text{воз}} = 3,5\text{ м}^3/\text{час}$ ;
4. Объем бака холодной воды —  $V = 0,6\text{ м}^3$ ;
5. Конечная температура воды —  $t_2 = 35 \div 40^{\circ}\text{C}$ .
6. Полезный объем бака-аккумулятора —  $V = 0,45\text{ м}^3$ .

Использование предлагаемой установки позволяет обеспечить поддержание относительной влажности воздуха в диапазоне  $30\text{--}95\%$  и уменьшает запыленность. Предложенная установка в сутки обеспечивает до  $400$  литров подогретой воды с температурой не ниже  $35^{\circ}\text{C}$ , а также позволяет экономии энергии на подогрев воды и качественное хранение плодоовощных продуктов с минимальными затратами энергии в плодоовощехранилищах. Природно-климатические условия и радиационные режимы города Карши хорошо благоприятствует применению солнечного подогрева воды увлажняющего приточного вентиляционного воздуха.

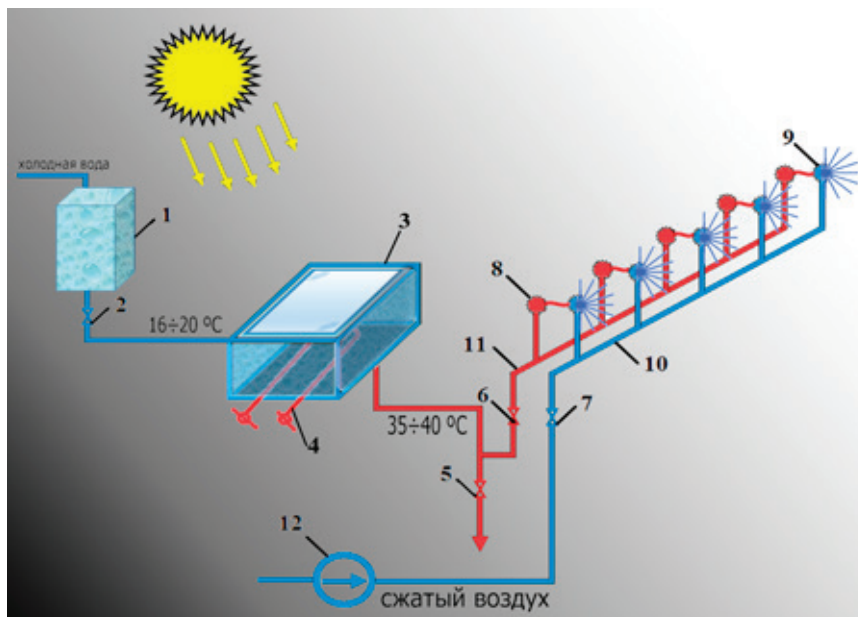


Рис.1. Установка для увлажнения воздуха. 1 — бак для холодной воды; 2 — регулирующий клапан холодной воды; 3 — бак-аккумулятор подогретой воды — солнечный коллектор; 4 — трубчатый электронагреватель ТЭН (дублер); 5 — вентиль для слива воды из системы; 6 — регулирующий клапан подогретой воды; 7 — регулирующий клапан на сжатом воздухе; 8 — игольчатый дроссель; 9 — водораспылительные форсунки; 10 — трубопровод сжатого воздуха; 11 — трубопровод подогретой воды; 12 — воздушный компрессор (вентилятор)

Таким образом, при использовании предложенной солнечной установки снижается запыленность воздуха, экономия энергии для подогрева воды в системе увлаж-

нения воздуха составляет до  $50\%$ , расход воды на увлажнение воздуха уменьшается в  $1\text{--}1,5$  раза.

#### Литература:

1. Постановление Президента Республики Узбекистан от 5 мая 2015 года № ПП-2343 «О программе сокращению энергоёмкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015–2019 годы».



2. Указ Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии» УП-4512 от 01.03.2013 г.
3. Узаков, Г. Н. Энергоэффективные системы теплохладоснабжения плодоовощехранилищ. — Германия: г. Саарбрюккен, LAP Lambert Academic Publishing, 2013 г. — 268 с.

## Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на режиме максимального крутящего момента

Чувашев Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент  
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

*В Вятской ГСХА на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов осуществлена разработка дизеля 2Ч 10,5/12,0 для работы на метаноле с использованием двойной системы топливоподачи. В работе приводится анализ характеристик тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки.*

**Ключевые слова:** дизель, метанол, двойная система топливоподачи

На рисунке 1 представлено изменение характеристик тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 от изменения нагрузки при работе на ДТ и на метаноле с ДСТ на частоте вращения, соответствующей максимальному крутящему моменту. При работе дизеля на ДТ при увеличении нагрузки снижается максимум скорости активного тепловыделения с  $(d\chi/d\varphi)_{\max} = 0,106$  при  $p_e = 0,127$  МПа до значения  $(d\chi/d\varphi)_{\max} = 0,042$  при  $p_e = 0,635$  МПа. Снижение составляет 60,4%. При этом кривая активного выделения теплоты, соответствующая максимальному давлению сгорания, также снижается при увеличении нагрузки с 0,73 при  $p_e = 0,127$  МПа до значения 0,39 при  $p_e = 0,635$  МПа при работе дизеля на ДТ. Снижение составляет 46,6%. Активное выделение теплоты, соответствующее максимальной температуре цикла, при увеличении нагрузки также снижается. Так, при  $p_e = 0,127$  МПа значение  $\chi_i, T_{z \max} = 0,88$  и при увеличении нагрузки до  $p_e = 0,635$  МПа снижается до  $\chi_i, T_{z \max} = 0,53$ . Снижение составляет 39,8%. Угол, соответствующий максимальной температуре цикла  $\varphi_{T_{z \max}}$  при  $p_e = 0,127$  МПа равен 11° после в.м.т. и при увеличении нагрузки до  $p_e = 0,635$  МПа увеличивается до 17° после в.м.т. Увеличение составляет 6° п.к.в., или 35,3%.

Из кривых, представленных на рисунке, видно, что при работе дизеля на метаноле с ДСТ характеристики тепловыделения несколько отличаются от характеристик опытного дизеля [1–5]. При работе дизеля на метаноле с ДСТ при увеличении нагрузки максимум скорости активного тепловыделения снижается с  $(d\chi/d\varphi)_{\max} = 0,069$  при  $p_e = 0,127$  МПа до значения  $(d\chi/d\varphi)_{\max} = 0,058$  при  $p_e = 0,635$  МПа. Снижение составляет 15,9%. При этом кривая активного выделения теплоты, соответствующая максимальному давлению сгорания, увеличивается при увеличении нагрузки с 0,45 при  $p_e = 0,127$  МПа до значения

0,68 при  $p_e = 0,46$  МПа при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 33,8%. Затем происходит снижение активного тепловыделения, соответствующего максимальному давлению сгорания, до значения  $\chi_{i, Pz \max} = 0,58$ . Снижение составляет 14,7%. Кривая активного выделения теплоты, соответствующая максимальной температуре, при работе дизеля на метаноле с ДСТ повышается при увеличении нагрузки с 0,65 при  $p_e = 0,127$  МПа до значения 0,83 при  $p_e = 0,46$  МПа. Увеличение составляет 21,7%. Угол, соответствующий максимальной температуре цикла  $\varphi_{T_{z \max}}$  при  $p_e = 0,127$  МПа равен 13° после в.м.т. и при увеличении нагрузки до  $p_e = 0,635$  МПа увеличивается до 19° после в.м.т. Снижение составляет 31,6%.

Анализируя изменения значений показателей процесса тепловыделения в зависимости от нагрузки при частоте вращения  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup> и оптимальных установочных УОВТ можно отметить следующее [6–12]. Максимум скорости активного тепловыделения при работе дизеля на метаноле с ДСТ на малых нагрузках меньше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при  $p_e = 0,127$  МПа максимум скорости активного тепловыделения снижается с  $(d\chi/d\varphi)_{\max} = 0,106$  при работе на ДТ до значения  $(d\chi/d\varphi)_{\max} = 0,069$  при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 34,9%. С увеличением нагрузки происходит увеличение максимума скорости активного тепловыделения. Так, при  $p_e = 0,635$  МПа значение  $(d\chi/d\varphi)_{\max} = 0,042$  при работе дизеля на ДТ, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ  $(d\chi/d\varphi)_{\max} = 0,058$ . Увеличение составляет 27,6%. Активное выделение теплоты, соответствующее максимальной температуре сгорания на малых нагрузках, при  $p_e = 0,127$  МПа равно 0,88 — при работе дизеля на ДТ и 0,65 — при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 26,1%. При увеличении на-

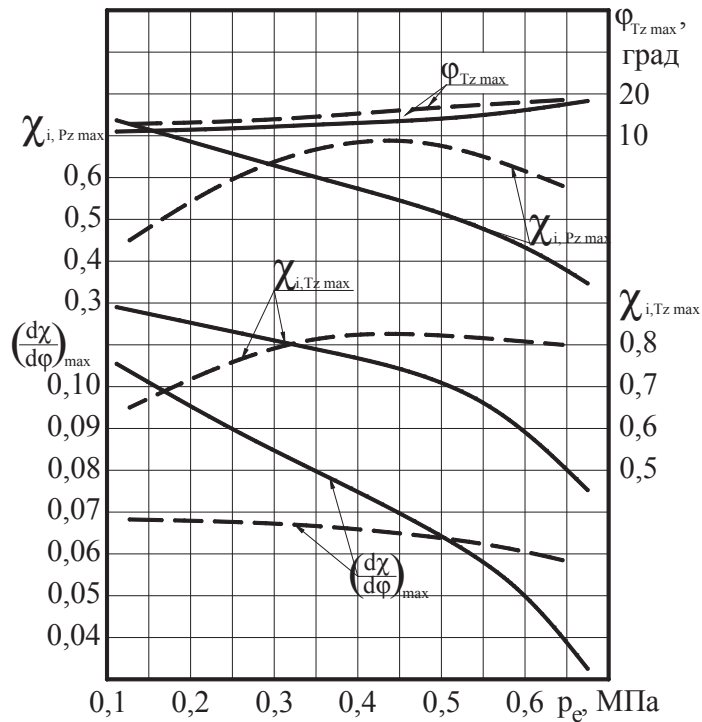


Рис. 1. Влияние применения метанола с ДСТ на характеристики тепловыделения в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки при  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\frac{3}{4}$  — дизельный процесс; — — — метанол с запальным ДТ

грузки до  $p_e = 0,635 \text{ МПа}$  значение  $\chi_{i, Tz \max}$  по сравнению с опытным дизелем увеличивается и составляет  $\chi_{i, Tz \max} = 0,53$  для ДТ и  $\chi_{i, Tz \max} = 0,79$  при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 32,9%. Величина активного выделения теплоты, соответствующая максимальному давлению сгорания при малых нагрузках, при работе на метаноле с ДСТ ниже, чем при работе на ДТ. Так, при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  величина  $\chi_{i, Pz \max} = 0,73$  при работе дизеля на ДТ и  $\chi_{i, Tz \max} = 0,45$  при работе дизеля на метаноле

с ДСТ. Снижение составляет 38,4%. Угол, соответствующий максимальной температуре цикла, при  $p_e = 0,127 \text{ МПа}$  равен  $11^\circ$  после в.м.т. при работе дизеля на ДТ и  $13^\circ$  после в.м.т. при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет  $2^\circ$  п.кв. При увеличении нагрузки до  $p_e = 0,635 \text{ МПа}$  значения угла, соответствующего максимальной температуре цикла, при работе дизеля на ДТ составляет  $17^\circ$  после в.м.т., а при работе дизеля на метаноле с ДСТ  $19^\circ$  после в.м.т. Увеличение составляет  $2^\circ$  п.кв.

Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография / Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с.8–10.
4. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 3. — с. 8–11.
5. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 4. — с. 10–13.
6. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.

7. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2007. — 167 с.
8. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 340–343.
9. Чувашев, А. Н. Особенности процесса сгорания в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 343–346.
10. Чувашев, А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на частоте вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 347–348.
11. Чувашев, А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 349–350.
12. Чувашев, А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 351–352.

## Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate

Шинкин Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

*Предложен математический метод определения оптимальных параметров холодной правки стального листа из горячекатаного рулона на листопрямительной машине испанской фирмы Fagor Arrasate. Расчеты позволяют определить вид и кривизну нейтральной линии стального листа при правке, а также остаточную кривизну листа после правки в зависимости от радиуса рабочих роликов, шага между роликами правильной машины, величины обжатия листа верхними роликами, толщины листа, а также модуля Юнга, предела текучести и модуля упрочнения металла листа. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах при производстве стального листа из горячекатанного рулона.*

**Ключевые слова:** горячекатаный стальной рулон, остаточные напряжения, кривизна поверхности листа, многороликовые листопрямительные машины, модель упругопластической среды.

Правка стального листа на шестироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate. Основная задача технологии правки листа — рассчитать оптимальные режимы обжатия листовой заготовки рабочими роликами листопрямительных машин таким образом, чтобы на выходе из машины лист имел минимальные остаточные напряжения и кривизну.

На рис. 1 показана кинематическая схема линии предварительной правки стального листа из горячекатаного рулона, где 1 — передвижной разматыватель рулона с четырехсекционным барабаном для фиксации рулона, 2 — горячекатаный стальной рулон, 3 — механизм для исправления кривизны рулона, 4 — устройство с выдвигным столом для раскрытия рулона и проводки листа, 5 — тянущие подающие ролики, 6 — шестироликовая листопрямительная машина (верхние три ролика имеют независимое вертикальное перемещение, нижние три ролика неподвижны), 7 — гидrocилиндры.

Пусть  $t$  — шаг между нижними роликами,  $H_2, H_4$  и  $H_6$  — величины обжатия срединной поверхности стального листа на втором, четвертом и шестом роликах,  $h$  — толщина стального листа,  $R$  — радиус рабочих роликов,  $R_0 = R + h/2$ ;  $\sigma_r$ ,  $E$ ,  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  — предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения стали при растяжении и сжатии;  $\rho_i$  и  $\epsilon_i = 1/\rho_i$  — радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках касания листа с роликами,  $\varphi_i$  — углы точек касания листа и роликов ( $i = 1 \dots 6$ ) (рис. 2).

Коэффициент пружинения нейтральной линии листа при радиусе кривизны  $\rho$  равен [1–3]

$$\beta(\rho) = 1 / \left( (1 - \eta)(1 + \xi)(1 - 2\xi)^2 \right), \quad \xi = \rho \sigma_r / (h E), \quad \eta = (\Pi_p + \Pi_c) / (2E).$$

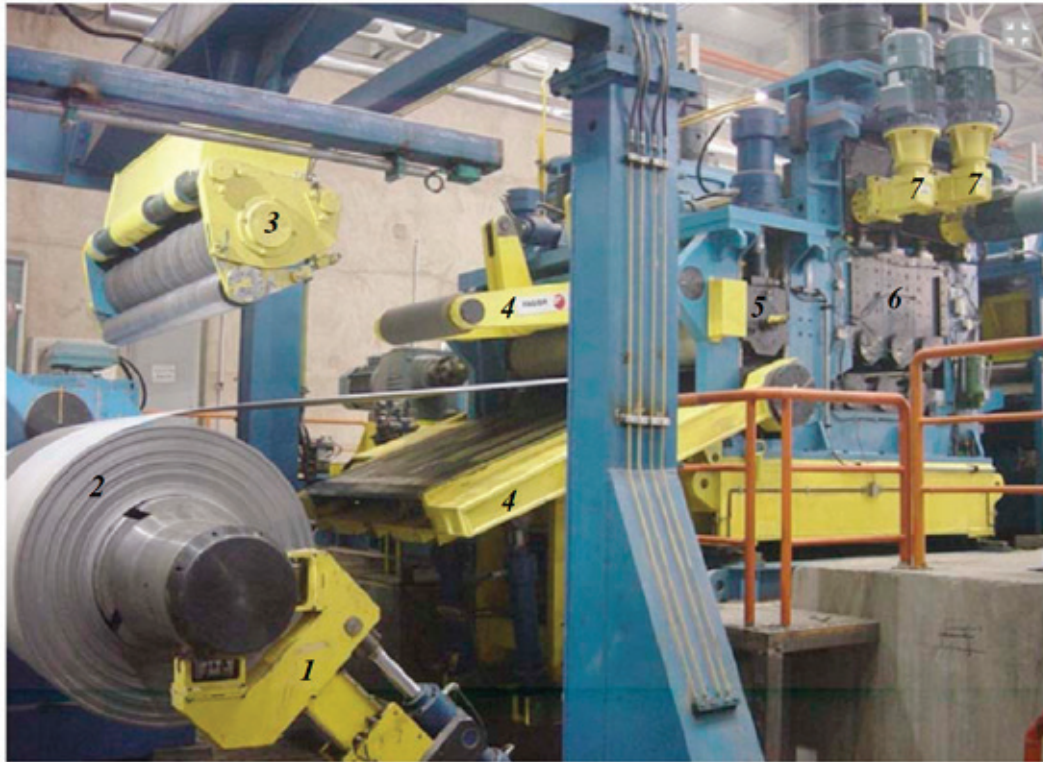


Рис. 1. Разматыватель рулона и шестироликовая листопрямляющая машина

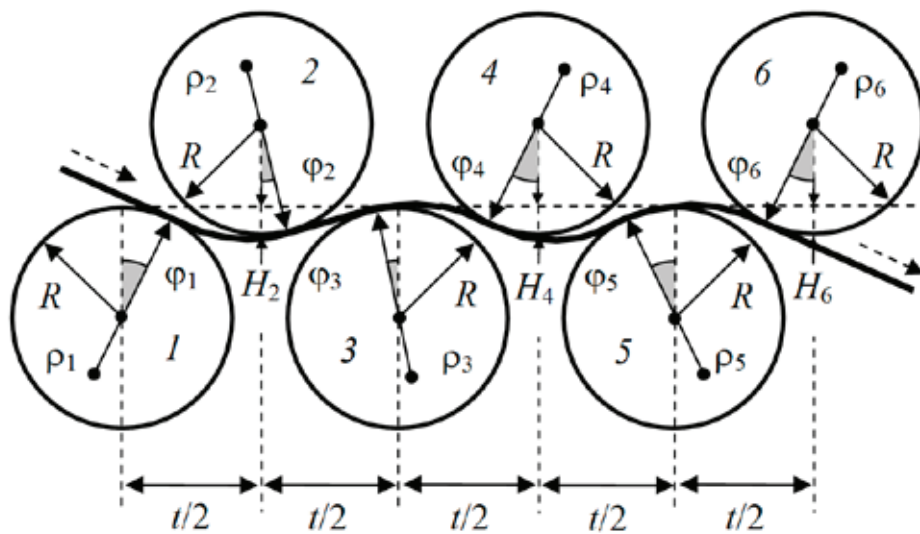


Рис. 2. Расчетная схема модели правки листа на шести роликах

Введем пять локальных прямоугольных декартовых систем координат  $u-z$  в точках касания листа с рабочими роликами листопрямляющей машины. Оси  $z$  направим по касательной к поверхности роликов слева направо, а оси  $u$  — перпендикулярно к оси  $z$  в сторону центров соответствующих роликов. Будем аппроксимировать в этих системах координат нейтральную линию листа (между соседними точками касания листа и роликов) с помощью кубических полиномов вида  $u(z) = a z^2 - b z^3$  (метод Шинкина). Отметим, что первые два коэффициента этих полиномов равны нулю, так как лист касается роликов в начале систем координат. Обозначим  $a_i$  и  $b_i$  — коэффициенты кубических полиномов в  $i$  — ой системе координат. Составим уравнения для коэффициентов кубических полиномов, кривизны и радиусов кривизны нейтральной линии листа в точках касания листа с роликами.

Составим уравнения для коэффициентов кубических полиномов, кривизны и радиусов кривизны нейтральной линии листа в точках его касания с валками.

*Первый и второй ролики:*

$$z_2 = \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \phi_1 + R_0 \sin \phi_2 \right) \cos \phi_1 + [H_2 - R_0 (1 - \cos \phi_1) - R_0 (1 - \cos \phi_2)] \sin \phi_1,$$

$$y_2 = - \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \phi_1 + R_0 \sin \phi_2 \right) \sin \phi_1 + [H_2 - R_0 (1 - \cos \phi_1) - R_0 (1 - \cos \phi_2)] \cos \phi_1,$$

$$a_1 = \frac{3y_2 + \operatorname{tg}(\phi_1 + \phi_2)z_2}{z_2^2}, \quad b_1 = \frac{2y_2 + \operatorname{tg}(\phi_1 + \phi_2)z_2}{z_2^3},$$

$$\varepsilon_{12} = 2a_1, \quad \rho_{12} = \frac{1}{2a_1}, \quad \varepsilon_{21} = \frac{2a_1 - 6b_1z_2}{\left[ 1 + (2a_1z_2 - 3b_1z_2^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{21} = \frac{1}{\varepsilon_{21}}.$$

Второй и третий ролики:

$$z_3 = \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \phi_2 - R_0 \sin \phi_3 \right) \cos \phi_2 + [H_2 - R_0 (1 - \cos \phi_2) - R_0 (1 - \cos \phi_3)] \sin \phi_2,$$

$$y_3 = - \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \phi_2 - R_0 \sin \phi_3 \right) \sin \phi_2 + [H_2 - R_0 (1 - \cos \phi_2) - R_0 (1 - \cos \phi_3)] \cos \phi_2,$$

$$a_2 = \frac{3y_3 + \operatorname{tg}(\phi_2 - \phi_3)z_3}{z_3^2}, \quad b_2 = \frac{2y_3 + \operatorname{tg}(\phi_2 - \phi_3)z_3}{z_3^3},$$

$$\varepsilon_{23} = 2a_2, \quad \rho_2 = \rho_{23} = \frac{1}{2a_2}, \quad \varepsilon_{32} = \frac{2a_2 - 6b_2z_3}{\left[ 1 + (2a_2z_3 - 3b_2z_3^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_3 = \rho_{32} = \frac{1}{\varepsilon_{32}}.$$

Третий и четвертый ролики:

$$z_4 = \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \phi_3 - R_0 \sin \phi_4 \right) \cos \phi_3 - [H_4 - R_0 (1 - \cos \phi_3) - R_0 (1 - \cos \phi_4)] \sin \phi_3,$$

$$y_4 = \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \phi_3 - R_0 \sin \phi_4 \right) \sin \phi_3 + [H_4 - R_0 (1 - \cos \phi_3) - R_0 (1 - \cos \phi_4)] \cos \phi_3,$$

$$a_3 = \frac{3y_4 - \operatorname{tg}(\phi_3 + \phi_4)z_4}{z_4^2}, \quad b_3 = \frac{2y_4 - \operatorname{tg}(\phi_3 + \phi_4)z_4}{z_4^3},$$

$$\varepsilon_{34} = 2a_3, \quad \rho_{34} = \frac{1}{2a_3}, \quad \varepsilon_{43} = \frac{2a_3 - 6b_3z_4}{\left[ 1 + (2a_3z_4 - 3b_3z_4^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{43} = \frac{1}{\varepsilon_{43}}.$$

Четвертый и пятый ролики:

$$z_5 = \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \phi_4 - R_0 \sin \phi_5 \right) \cos \phi_4 - [H_4 - R_0 (1 - \cos \phi_4) - R_0 (1 - \cos \phi_5)] \sin \phi_4,$$

$$y_5 = \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \phi_4 - R_0 \sin \phi_5 \right) \sin \phi_4 + [H_4 - R_0 (1 - \cos \phi_4) - R_0 (1 - \cos \phi_5)] \cos \phi_4,$$

$$a_4 = \frac{3y_5 - \operatorname{tg}(\phi_4 + \phi_5)z_5}{z_5^2}, \quad b_4 = \frac{2y_5 - \operatorname{tg}(\phi_4 + \phi_5)z_5}{z_5^3},$$

$$\varepsilon_{45} = 2a_4, \quad \rho_4 = \rho_{45} = \frac{1}{2a_4}, \quad \varepsilon_{54} = \frac{2a_4 - 6b_4z_5}{\left[ 1 + (2a_4z_5 - 3b_4z_5^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_5 = \rho_{54} = \frac{1}{\varepsilon_{54}}.$$

Пятый и шестой ролики:

$$z_6 = \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \phi_5 - R_0 \sin \phi_6 \right) \cos \phi_5 - [H_6 - R_0 (1 - \cos \phi_5) - R_0 (1 - \cos \phi_6)] \sin \phi_5,$$

$$y_6 = - \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \phi_5 - R_0 \sin \phi_6 \right) \sin \phi_5 + [H_6 - R_0 (1 - \cos \phi_5) - R_0 (1 - \cos \phi_6)] \cos \phi_5,$$

$$a_5 = \frac{3y_6 - \operatorname{tg}(\phi_5 + \phi_6)z_6}{z_6^2}, \quad b_5 = \frac{2y_6 - \operatorname{tg}(\phi_5 + \phi_6)z_6}{z_6^3},$$

$$\varepsilon_{56} = 2a_5, \quad \rho_{56} = \frac{1}{2a_5}, \quad \varepsilon_{65} = \frac{2a_5 - 6b_5z_6}{\left[ 1 + (2a_5z_6 - 3b_5z_6^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{65} = \frac{1}{\varepsilon_{65}}.$$



Граничные условия задачи имеют вид

$$\rho_{12} = \rho_1, \quad \rho_{21} = -\rho_{23}, \quad \rho_{32} = -\rho_{34}, \quad \rho_{43} = -\rho_{45}, \quad \rho_{54} = -\rho_{56}, \quad \rho_{65} = \beta(\rho_{56})\rho_{56}.$$

**Результаты расчетов.** Решая систему уравнений при  $t = 0,27$  м,  $R = 0,125$  м,  $h = 0,01$  м,  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$  Па,  $H_2 = 0,024$  м,  $H_4 = 0,012$  м,  $H_6 = -0,014$  м и  $\rho_1 = -1$  м, получаем  $\rho_2 = 0,160$  м,  $\rho_3 = -0,174$  м,  $\rho_4 = 0,284$  м,  $\rho_5 = -1,578$  м,  $\rho_6 = -25,517$  м,  $\varphi_1 = 15,57^\circ$ ,  $\varphi_2 = 4,34^\circ$ ,  $\varphi_3 = 5,99^\circ$ ,  $\varphi_4 = 2,47^\circ$ ,  $\varphi_5 = 7,49^\circ$  и  $\varphi_6 = -4,36^\circ$  (рис. 3).

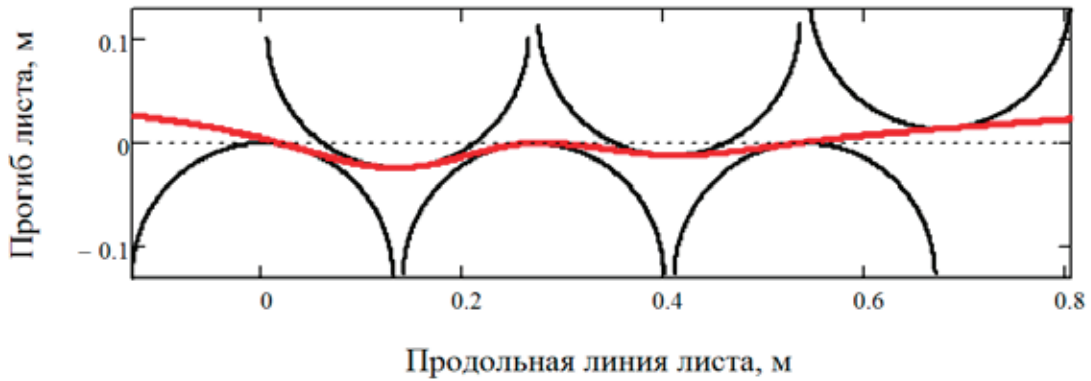


Рис. 3. Срединная линия листа между шестью роликами правильной машины

На рис. 4 показана зависимость кривизны нейтральной линии листа при правке на шестирولیковой листопрáвильной машине. По оси абсцисс отложена продольная ось листа, а по оси ординат — кривизна продольных во-

локов срединной линии листа. Точки локальных экстремумов кривизны соответствуют точкам касания листа с рабочими роликами листопрáвильной машины.

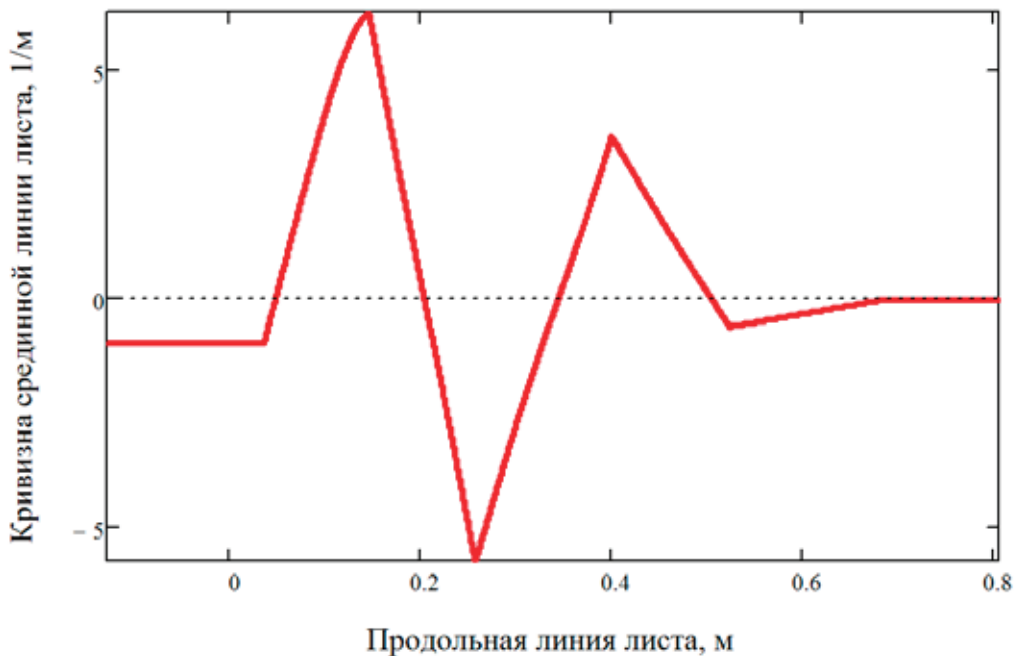


Рис. 4. Кривизна срединной линии листа при правке на шести роликах

**Особенности правки стального листа.** При правильном подборе обжатий листа роликами и не очень большой начальной кривизне стальные листы при правке быстро «забывают» о своей первоначальной кривизне и после 4-го ролика кривизна всех листов становится практически оди-

наковой. Для этого величина обжатия листа первыми четырьмя роликами должна достигнуть некоторого оптимального значения, а доля пластической деформации по толщине листа должна составлять от 67% до 80%. После 4-го ролика обжатия стального листа подбираются так,

чтобы свести кривизну листа на 6-м ролике практически к нулю. При этом остаточные напряжения в стенке листа также уменьшаются. При очень большой начальной кривизне полностью выправить лист на правильной машине не представляется возможным, однако кривизна листа в процессе правки существенно уменьшается.

Особого внимания требует правка толстых высокопрочных стальных листов, для которых отношение предела текучести к пределу прочности превышает 85–90%. В этом случае металл листа становится более «хрупким», при правке листа сложнее попасть в зону оптимальных значений пластических деформаций и легко приблизиться к пределу прочности металла на поверхности стального листа, что в свою очередь может вызвать появление нежелательных дефектов металла.

Возможны разные сочетания величин обжатия на роликах листоправильной машины. Например, можно задавать максимальное обжатие не на втором ролике, а на четвертом ролике, постепенно увеличивая кривизну листа от первого ролика к четвертому ролику. Это позволяет

легче «заправить» лист в правильную машину и избежать резких нежелательных изменений кривизны листа в начале процесса правки.

**Производство труб из стального листа.** В практике производства труб большого диаметра для магистральных газонефтепроводов утвердился процесс формовки трубной заготовки из толстого стального листа по схеме JCOE [1–39]. Перед формовкой труб стальной лист правят на многороликовых (многовалковых) листоправильных машинах [35–38]. Дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе изучался в работах [1, 2, 11–23], вредное влияние остаточных напряжений в стенке стального листа после трубоформовочного пресса на процесс экспандирования трубы — в [1, 2, 24], дефект «точка перегиба» при изгибе стального листа на трубоформовочном прессе — в [1, 2, 26], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы — в [1, 2, 33], дефект стального листа раскатной пригар с рисккой — в [1, 2, 34], процессы прокатки стального листа для производства труб — в [40–49].

#### Литература:

1. Шинкин, В. Н. Механика сплошных сред для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2014. — 628 с.
2. Шинкин, В. Н. Сопrotивление материалов для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2013. — 655 с.
3. Шинкин, В. Н. Сопrotивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. — М: Изд. Дом МИСиС, 2008. — 307 с.
4. Шинкин, В. Н. Теоретическая механика для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2012. — 679 с.
5. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листоправильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). с. 344–349.
6. Шинкин, В. Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листоправильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). с. 359–365.
7. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листоправильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 361–366.
8. Шинкин, В. Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 467–472.
9. Шинкин, В. Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листоправильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92).
10. Шинкин, В. Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93).
11. Шинкин, В. Н., Уандыкова С. К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. с. 110–112.
12. Шинкин В. Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. Вып. 6. с. 171–174.
13. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процесса пластического формоизменения листовой заготовки для производства труб большого диаметра // Обработка металлов давлением, 2011. № 3 (28). с. 7–11.
14. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. с. 14–22.
15. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Упругопластическое изменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. с. 53–56.
16. Shinkin, V. N., Kolikov A. P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
17. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. № 9. с. 45–49.

18. Шинкин, В. Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. № 4 (62). Вып. 4. с. 69–74.
19. Шинкин, В. Н., Коликов А. П., Барыков А. М. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // *Металлург*. 2011. № 11. с. 77–81.
20. Shinkin, V. N., Kolikov A. P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // *Metallurgist*. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
21. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // *Сталь*. 2011. № 1. с. 54–58.
22. Shinkin, V. N., Kolikov A. P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
23. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // *Производство проката*. 2014. № 12. с. 13–20.
24. Шинкин, В. Н., Коликов А. П., Мокроусов В. И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспан-дировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // *Производство проката*. 2012. № 7. с. 25–29.
25. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процессов экспандирования и гидротестирования труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // *Производство проката*. 2011. № 10. с. 12–19.
26. Шинкин, В. Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // *Производство проката*. 2012. № 9. с. 21–26.
27. Шинкин, В. Н. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // *Сталь*. 2015. № 4. с. 38–42.
28. Шинкин, В. Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 3 (74). Часть 1. с. 64–67.
29. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 4 (75). Часть 1. с. 114–119.
30. Шинкин, В. Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 5 (76) Часть 1. с. 96–99.
31. Шинкин, В. Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 6 (77).
32. Шинкин, В. Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 7 (78).
33. Шинкин, В. Н., Барыков А. М., Коликов А. П., Мокроусов В. И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // *Производство проката*. 2012. № 2. с. 14–16.
34. Шинкин, В. Н., Мокроусов В. И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с риской» // *Производство проката*. 2012. № 12. с. 19–24.
35. Шинкин, В. Н., Федотов О. В. Расчет технологических параметров правки горячекатаной рулонной полосы на пятироlikовой машине линии Fagor Arrasate // *Производство проката*. 2013. № 9. с. 43–48.
36. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироlikовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // *Производство проката*. 2014. № 5. с. 7–15.
37. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироlikовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // *Производство проката*. 2014. № 8. с. 26–34.
38. Шинкин, В. Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироlikовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // *Производство проката*. 2015. № 1. с. 42–48.
39. Пермичев, Н. Ф., Барыков А. М., Палева О. А. Управление инновационным потенциалом предприятия. — Нижний Новгород: Изд. ВВАГС, 2008. — 83 с.
40. Скороходов, В. Н., Чернов П. П., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Математическая модель процесса свободного уширения при прокатке полос // *Сталь*. 2001. № 3. с. 38–40.
41. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Нейтральные углы при прокатке в валках неравных диаметров, вращающихся с одинаковой угловой скоростью // *Производство проката*. 2006. № 5. с. 2–6.

42. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Контактное давление при тонколистовой прокатке в валках неравных диаметров, вращающихся с одинаковой угловой скоростью // Производство проката. 2007. № 2. с. 15–20.
43. Мухин, Ю. А., Бельский С. М. О допустимости одного упрощения при анализе процесса несимметричной тонколистовой прокатки // Производство проката. 2007. № 7. с. 11–13.
44. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М. Энергетический баланс и величина нейтральных углов при прокатке в валках неравных диаметров // Производство проката. 2007. № 9. с. 15–18.
45. Бельский, С. М., Мухин Ю. А. Нейтральные углы и контактное давление при тонколистовой прокатке со скоростной асимметрией // Производство проката. 2007. № 11. с. 13–17.
46. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М., Мазур С. И. Особенности профилировок рабочих валков для клетей с осевой сдвижкой. Сообщение 1 // Производство проката. 2007. № 12. с. 17–19.
47. Бельский, С. М. Влияние формы эпюры переднего удельного натяжения на распределение давления прокатки и выходных напряжений по ширине полосы // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2008. № 1. с. 43–46.
48. Скороходов, В. Н., Мухин Ю. А., Бельский С. М., Мазур С. И. Особенности профилировок рабочих валков для клетей с осевой сдвижкой. Сообщение 2 // Производство проката. 2008. № 1. с. 21–24.
49. Бельский, С. М. О некоторых эффектах применения осевой сдвижки рабочих валков // Производство проката. 2008. № 7. с. 21–24.
50. Бельский, С. М., Мухин Ю. А., Мазур И. П. Теоретический анализ влияния натяжений на уширение металла при тонколистовой прокатке // Производство проката. 2008. № 11. с. 13–17.

# Молодой ученый

Научный журнал  
Выходит два раза в месяц

№ 14 (94) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:**

Ахметова Г. Д.

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова М. Н.  
Иванова Ю. В.  
Каленский А. В.  
Куташов В. А.  
Лактионов К. С.  
Сараева Н. М.  
Авдеюк О. А.  
Айдаров О. Т.  
Алиева Т. И.  
Ахметова В. В.  
Брезгин В. С.  
Данилов О. Е.  
Дёмин А. В.  
Дядюн К. В.  
Желнова К. В.  
Жуйкова Т. П.  
Жураев Х. О.  
Игнатова М. А.  
Коварда В. В.  
Комогорцев М. Г.  
Котляров А. В.  
Кузьмина В. М.  
Кучерявенко С. А.  
Лескова Е. В.  
Макеева И. А.  
Матроскина Т. В.  
Матусевич М. С.  
Мусаева У. А.  
Насимов М. О.  
Прончев Г. Б.  
Семахин А. М.  
Сенцов А. Э.  
Сенюшкин Н. С.  
Титова Е. И.  
Ткаченко И. Г.  
Фозилов С. Ф.  
Яхина А. С.  
Ячинова С. Н.

**Ответственные редакторы:**

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

**Международный редакционный совет:**

Айрян З. Г. (Армения)  
Арошидзе П. Л. (Грузия)  
Атаев З. В. (Россия)  
Бидова Б. Б. (Россия)  
Борисов В. В. (Украина)  
Велковска Г. Ц. (Болгария)  
Гайич Т. (Сербия)  
Данатаров А. (Туркменистан)  
Данилов А. М. (Россия)  
Демидов А. А. (Россия)  
Досманбетова З. Р. (Казахстан)  
Ешиев А. М. (Кыргызстан)  
Жолдошев С. Т. (Кыргызстан)  
Игиснинов Н. С. (Казахстан)  
Кадыров К. Б. (Узбекистан)  
Кайгородов И. Б. (Бразилия)  
Каленский А. В. (Россия)  
Козырева О. А. (Россия)  
Колпак Е. П. (Россия)  
Куташов В. А. (Россия)  
Лю Цзюань (Китай)  
Малес Л. В. (Украина)  
Нагервадзе М. А. (Грузия)  
Прокопьев Н. Я. (Россия)  
Прокофьева М. А. (Казахстан)  
Рахматуллин Р. Ю. (Россия)  
Ребезов М. Б. (Россия)  
Сорока Ю. Г. (Украина)  
Узаков Г. Н. (Узбекистан)  
Хоналиев Н. Х. (Таджикистан)  
Хоссейни А. (Иран)  
Шарипов А. К. (Казахстан)

**Художник:** Шишков Е. А.

**Верстка:** Голубцов М. В.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.  
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru)

<http://www.moluch.ru/>

**Учредитель и издатель:**

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 26