

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

# УЧЁНЫЙ

научный журнал



ОТ РЕДАКЦИИ  
Вопросы, касающиеся  
публикации, направляйте  
по адресу: *Блюмен, Николай Николаевич*  
E-mail: *blumen@yandex.ru*  
Тел.: *8 (495) 270-10-10*

*Блюмен, Николай Николаевич*

**10**  
2015  
Часть III

ISSN 2072-0297

# Молодой учёный

Научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 10 (90) / 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*

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*

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*

Куташов Вячеслав Анатольевич, *доктор медицинских 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*

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*

Сенюшкин Николай Сергеевич, *кандидат технических наук*

Ткаченко Ирина Георгиевна, *кандидат филологических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

*На обложке изображен Николай Николаевич Блохин (1912–1993) — российский хирург-онколог, академик АН СССР и АМН СССР, общественный деятель.*

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»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», г. Казань, ул. Академика Арбузова, д. 4

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)*

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)*

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

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

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

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмуратович, *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)*

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)*

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Курбанов М. Т.**  
Основные приемы при работе в лаборатории .....251
- Лопатин О. П.**  
Исследование индикаторных показателей газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов..... 253
- Лопатин О. П.**  
Влияние рециркуляции отработавших газов на показатели процесса сгорания газодизеля .... 255
- Межаков О. Г., Скляр А. А.**  
ПИД-регулятор понижающего преобразователя напряжения ..... 257
- Мирханова М. А.**  
Обоснование прикладного характера науки геометрии в научном трактате Джамшида Каши «Ключ арифметики» ..... 261
- Мирханова М. А.**  
Понятия о геометрических образах и методах их проецирования в научных трудах среднеазиатского учёного Абу Райхана Бируни ..... 262
- Мухаммедова Р. Б.**  
Изучение и анализ национальных узоров с целью автоматизации процесса их создания ..... 264
- Нагарокова Д. К., Кенийз Н. В.**  
Способ совершенствования технологии производства сырокопченых колбас..... 267
- Нгуен Куок Куан, Ласкин А. С.**  
Численное исследование влияния межвенцового зазора на переменные силы в осевой ступени турбины..... 270
- Очилов Л. И., Абдуллаев Ж. М.**  
Изъятие пресной воды из подземных грунтовых вод при помощи гелиоустановки водонасосного опреснителя..... 274
- Пахомова Ю. В., Кривопалова Д. А., Кочетов В. В., Мамедова М. А.**  
Выбор характерных высушиваемых пастообразных материалов ..... 277
- Пашков Е. Н., Зиякаев Г. Р., Кузнецов И. В.**  
Разработка и определение параметров экспериментального стенда силового гидроимпульсного механизма ..... 279
- Пашков Е. Н., Зиякаев Г. Р., Новосельцева М. В.**  
Анализ эффективности гидроимпульсного механизма бурильных машин..... 282
- Петрова Л. В., Николаева А. А., Марков В. С.**  
Исследование устойчивости породного массива очистных камер россыпных месторождений Индигирки с использованием рейтинговой классификации Д. Лобшира..... 287
- Позилова Ш. Х.**  
Role Web 3.0 technology in our life ..... 291
- Полюшко Д. А., Куимова М. В.**  
Challenges of manned missions to Mars..... 293
- Ромашкина А. Ю., Дмитриенко Н. А.**  
Arresters type metal-oxide with serial clearance (EGLA) ..... 295
- Ромашкина А. Ю., Дмитриенко Н. А.**  
Process automation of accounting and investigation of technological violations by software package "Accident rate" ..... 297
- Сабиров Б. А., Рузиев И. С., Самандаров А. И., Курамбаев Ш. Р., Холмуратов Х. С., Рузметова Д. Т.**  
Обоснование основных динамических параметров устройства для резки непрерывного пластичного бруса мыла..... 298
- Самиев К. А., Саидов К. С., Аминов А.**  
Теоретическое исследование процессов тепло- и массообмена в солнечных опреснительных установках ..... 300

<b>Сафаров И. И., Ядгаров У. Т.</b> Колебания линейных вязкоупругих систем с конечным числом степеней свободы ..... 305	<b>Уразова А. А., Ерошкина Н. А., Коровкин М. О.</b> Исследование влияния противоусадочной добавки на деформации цементного камня ... 338
<b>Семенов А. О., Кузнецов М. С., Захаров А. С., Заплаткина Д. С.</b> Снижение погрешности гамма- спектрометрических измерений обогащения ядерных материалов..... 309	<b>Хаитов Б. У.</b> Об одном геометрическом методе определения линии общего уклона плоской кривой ..... 340
<b>Скрябин М. Л.</b> Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха ..... 312	<b>Хамитов Т. М.</b> К проблеме выбора реагентов — модификаторов для флотационного обогащения углей ..... 342
<b>Скрябин М. Л.</b> Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха..... 315	<b>Хрянина О. В., Белый А. А.</b> Влияние армирования основания на внутренние усилия в модели гибкого фундамента ..... 345
<b>Соковиков В. К., Строков П. И.</b> Исследование влияния высоковольтного разряда на подачу электрогидродинамического насоса высокого давления топливной системы дизеля..... 318	<b>Хрянина О. В., Белый А. А.</b> Прочность и деформируемость армированных песчаных грунтов в условиях трехосного сжатия..... 348
<b>Сухов Я. И., Гарькина И. А.</b> Приближенное вычисление спектральной плотности по типовым корреляционным функциям..... 321	<b>Хрянина О. В., Пономарева Т. В.</b> Прочность армированных песчаных грунтов в условиях одноплоскостного среза ..... 352
<b>Тимофеева А. А.</b> Создание основы САПР и базы знания процесса проектирования инструмента для обработки канавок ..... 324	<b>Худжакулова Д. Д.</b> Размножение объектов массивом в системе моделирования AutoCAD ..... 355
<b>Титов Е. А., Сафронов М. А., Кочергин А. С., Титанов А. М.</b> Повышение эффективности процесса первичного осветления сточных вод с применением флокуляции..... 327	<b>Чамеев В. В., Якимович С. Б., Ефимов Ю. В., Васильев Г. Л.</b> Алгоритмы и машинные программы для исследования технологических процессов лесоперерабатывающих цехов: архитектура комплекс программы «ЦЕХ»..... 357
<b>Томилин А. К., Аксёнова Н. В., Шевчук А. С.</b> Анализ одного «вечного» двигателя ..... 330	<b>Шинкин В. Н.</b> Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатиролковой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate ..... 361
<b>Тошев И. И.</b> Минарет Калян — жемчужина Востока..... 333	<b>Ядгаров У. Т.</b> Динамические эффекты, связанные со структурной неоднородностью конструкций ..... 366
<b>Трусов Д. Е., Коровкин М. О., Ерошкина Н. А.</b> Методы определения свойств самоуплотняющихся бетонных смесей ..... 335	<b>Ядгаров У. Т.</b> Исследование дисперсионного уравнения двухслойного цилиндра с жидкостью, находящейся в упругой среде ..... 369
	<b>Яковлева А. В., Логинова А. В.</b> Network attack detection systems ..... 371



## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Основные приемы при работе в лаборатории

Курбанов Миршод Ташпулатович, преподаватель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Студенты должны владеть определенными рабочими приемами при обращении с химическими веществами, обращении с приборами при работе в лаборатории, а также мероприятия по предотвращению несчастных случаев, по пожаротушению, оказанию первой помощи и по утилизации. Важные предписания и указания обобщены в приведенных далее таблицах.

#### а) Работа с жидкостями

При обращении с горючими жидкостями необходимо особенно соблюдать следующие свойства группы:

А) — жидкости, которые не смешиваемы или лишь частично смешиваемы с  $H_2O$

— жидкости, которые смешиваемы с  $H_2O$

В)

Жидкости с температурой возгорания $< 0^\circ C$ напр., метиловый эфир метановой кислоты (аромат рома), трет. пентан = крайне огнеопасны $F+, R12$	Жидкости с температурой возгорания между $0^\circ C$ и $21^\circ C$ напр., n-пентан, гептан = легко воспламеняющиеся $F, R 11$	Жидкости с температурой возгорания между $> 21^\circ C$ напр., ксилен = воспламеняющиеся (без символа опасности, но $R10$ )
--	--	---

Для нагревания жидкостей должна быть выбрана правильная нагревательная баня.

Типы ванны	Среда передачи	Достижимая температура ( $в^\circ C$ )
воздушная баня	проволочная сетка	до 1500
	воронка Бабо	до 1500
жидкостная ванна	вода	до 100
	солевой раствор	до 110
	масло/нефть	до 250
	парафиновое масло	до 250
ванна из твердых материалов	металлические сплавы	80–500
	песок	до 2000
	графит	до 2000

#### б) Работа с газами.

Максимальной допускаемой концентрации вредных веществ на рабочем месте, величина которых определяется при помощи измерений. Кроме того, должны соблюдаться, прежде всего, пределы взрывоопасности смесей из воздуха и горючих паров или газов.

	Пределы взрывоопасной концентрации в смесях с воздухом в Vol-% (в объемных процентах)	
	Нижний предел	Верхний предел
Пары бензина	1	8
Пары этанола	3,1	20
Пары эфира	1,6	48

Пары бензола	1,4	9,5
H <sub>2</sub>	4	75
газообразный KW	~1	~8
H <sub>2</sub> S	4,3	45,5
NH <sub>3</sub>	15	28
CO	12,5	75
CS <sub>2</sub>	1	50
Городской газ	5,3	40
Ацетилен	2,3	82
Этилен	2,7	34
Метан	4,9	15,4

### с) Утилизация.

Особенно важна при химических экспериментах правильная утилизация. Приведенная далее схема представляет обзор общих отходов, которые возникают при экспериментальном учебном занятии.

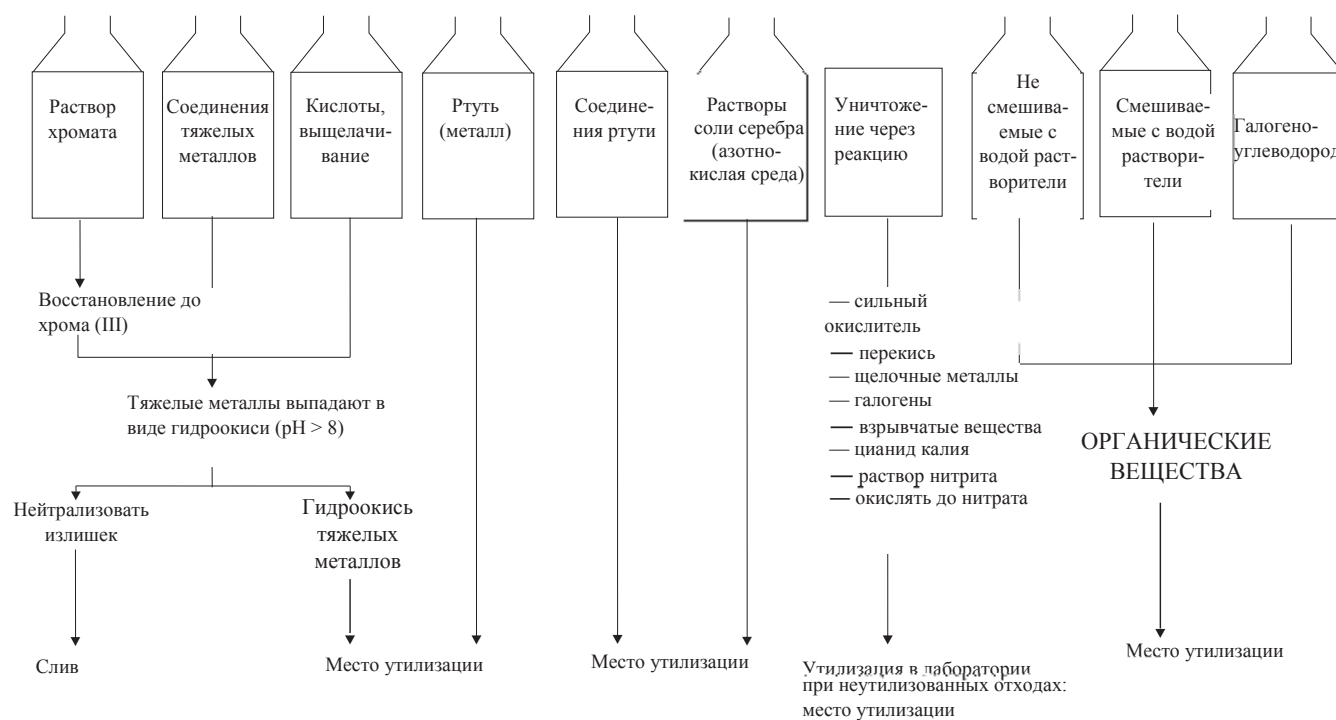


Рис. 1. Отходы после экспериментов



## Исследование индикаторных показателей газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов

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

*В работе представлены результаты применения компримированного природного газа и рециркуляции отработавших газов на индикаторные диаграммы дизеля размерности 4Ч 11,0/12,5.*

**Ключевые слова:** дизель, газодизель, природный газ, рециркуляция отработавших газов, индикаторные показатели.

В настоящее время во многих регионах страны сложилась крайне негативная экологическая обстановка, обусловленная тем, что масштабы хозяйственной деятельности человека формируют существенное повышение допустимых нагрузок на природные комплексы, а восстановление нарушенных геосистем происходит крайне медленно. Это дает основание предполагать, что улучшение экологических показателей дизелей тракторов, предназначенных для эксплуатации в экологически экстремальных условиях, путем применения природного газа в комплексе с методами, снижающими токсичность отработавших газов дизелей, является весьма актуальной научной задачей, имеющей важное народнохозяйственное значение.

В вятской государственной сельскохозяйственной академии проведены исследования по влиянию компримированного природного газа (КПГ) и рециркуляции отработавших газов (РОГ) на показатели рабочего процесса дизеля 4Ч 11,0/12,5 [1–3].

Экспериментальная тормозная установка включала электротормозной стенд SAK-N670 с балансирующей маятниковой машиной, дизель 4Ч 11,0/12,5, измерительную аппаратуру, газобаллонное оборудование, систему РОГ (рис. 1). Обработка индикаторных диаграмм рабочего процесса дизеля при работе на различных режимах осуществлялась с помощью ПЭВМ по программе ЦНИ-ДИ-ЦНИИМ [4, 5].

Степень РОГ ( $\rho$ ) регулировалась заслонкой, установленной в рециркуляционном трубопроводе, и определялась в зависимости от температуры окружающего воздуха

( $T_0$ ), температуры рециркулируемых газов ( $T_p$ ) и температуры смеси ( $T_s$ ) во впускной системе дизеля:

$$\rho = \left( \frac{T_s - T_0}{T_p - T_s} \right) / \left( 1 + \frac{T_s - T_0}{T_p - T_s} \right).$$

Дополнительно контроль степени РОГ осуществлялся газовым счетчиком РГ-400. Охлаждение рециркулируемых газов осуществлялось посредством теплообменника за счет передачи тепла охлаждающей жидкости в систему охлаждения дизеля и радиатора, установленного перед масляным радиатором, за счет передачи тепла в атмосферу [6, 7].

Индикаторные диаграммы газодизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе по дизельному, газодизельному и газодизельному с РОГ процессам на установочном угле опережения впрыскивания топлива 23 градуса представлены на рис. 2. Анализируя индикаторные показатели можно отметить, что общие закономерности изменения кривых давлений в зависимости от угла поворота коленчатого вала сохраняются как для номинальной частоты вращения ( $n=2200$  мин<sup>-1</sup>), так и для частоты вращения при максимальном крутящем моменте ( $n=1700$  мин<sup>-1</sup>). Так, при переходе на газодизельный процесс с РОГ уменьшается максимальное давление газов в цилиндре, жесткость процесса, увеличивается угол, соответствующий периоду задержки воспламенения. Из графиков видно, что при работе по газодизельному с РОГ процессу увеличивается период задержки воспламенения, снижается максимальное давление газов в цилиндре. При работе газодизеля с 10%-ной РОГ максимальное давление газов в цилиндре составляет  $P_z = 8,2$

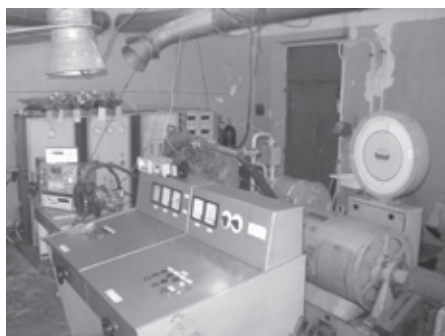


Рис. 1. Общий вид пульта управления тормозным стендом SAK-N670 и установленного оборудования

МПа, при газодизельном процессе  $P_z = 8,5$  МПа, при дизельном процессе  $P_z = 8,1$  МПа. При работе с 20%-ной РОГ максимальное давление газов в цилиндре составляет  $P_z = 7,7$  МПа, что на 9,4% ниже газодизельного процесса и на 4,9% ниже дизельного. Применение 20%-ной РОГ на газодизеле приводит к значительному повышению периода задержки воспламенения, применение же 10%-ной РОГ практически оставляет период задержки воспламе-

нения на уровне чисто газодизельного процесса. С увеличением степени рециркуляции уменьшается угол наклона кривой давления газов, что свидетельствует о снижении жесткости процесса сгорания [8–10].

Таким образом, применение КПГ и РОГ на дизеле 4Ч 11,0/12,5 обеспечивает надежную работу дизеля, при этом ухудшение индикаторных показателей при степени РОГ 10% не превышает 5%.

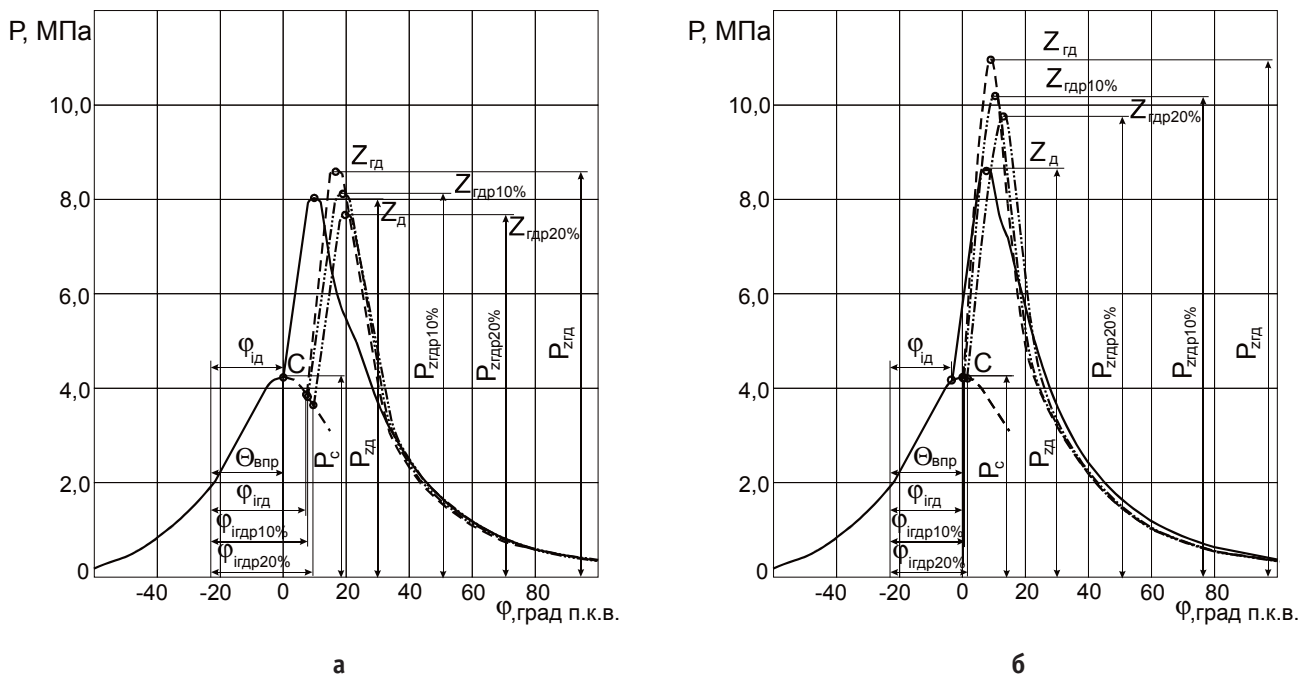


Рис. 2. Влияние применения КПГ и РОГ на индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при  $\Theta_{впр} = 23$  градуса: а —  $n=2200$  мин<sup>-1</sup>,  $p_e = 0,63$  МПа; б —  $n=1700$  мин<sup>-1</sup>,  $p_e = 0,69$  МПа; — — — — дизельный процесс; - - - - газодизельный процесс; - · - · - рециркуляция 10%; · · · · · рециркуляция 20%

Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанолю- и этанолю-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
2. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
3. Лопатин, О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 (Д-240) при работе на природном газе путем применения рециркуляции отработавших газов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2004. — 18 с.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 24–26.
6. 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.
7. 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.
8. 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.

9. 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.
10. 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.

## Влияние рециркуляции отработавших газов на показатели процесса сгорания газодизеля

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

*В работе представлены результаты применения компримированного природного газа и рециркуляции отработавших газов на показатели процесса сгорания дизеля размерности 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива.*

**Ключевые слова:** дизель, газодизель, природный газ, рециркуляция отработавших газов, показатели процесса сгорания.

На фоне неизбежного увеличения цен на нефтепродукты и ухудшающейся экологической обстановкой, связанной, прежде всего, с увеличением количества энергоустановок, работающих на жидком нефтяном топливе, происходит усиленное внедрение альтернативных источников энергии. В работе представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных на базе научно-исследовательской лаборатории кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов Вятской государственной сельскохозяйственной академии (рис. 1), по улучшению экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения компримированного природного газа (КПГ) и рециркуляции отработавших газов (РОГ) [1–3].

На рис. 2 представлены показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива для но-

минальной частоты вращения ( $n=2200 \text{ мин}^{-1}$ ) и частоты, соответствующей максимальному крутящему моменту ( $n=1700 \text{ мин}^{-1}$ ) [4, 5].

Из графиков (рис. 2, а) видно, что при работе по газодизельному процессу с РОГ снижается максимальное давление газов в цилиндре двигателя и при  $\Theta_{впр} = 26$  градусов при работе с 10%-ной РОГ составляет 9,7 МПа, что на 4,9% ниже, чем при чисто газодизельном процессе и на 8,2% выше дизельного процесса. Снижается жесткость процесса сгорания и при  $\Theta_{впр} = 26$  градусов ( $dp/d\phi$ )  $\max$  составляет 0,95 МПа/град. Незначительно увеличивается угол, соответствующий периоду задержки воспламенения. При установочном угле опережения впрыскивания топлива 23 градуса максимальное давление в цилиндре дизеля при газодизельном процессе составляет 8,5 МПа, то при газодизельном процессе с 10%-ной РОГ — 8,2 МПа, что на 3,5% ниже, чем при чисто

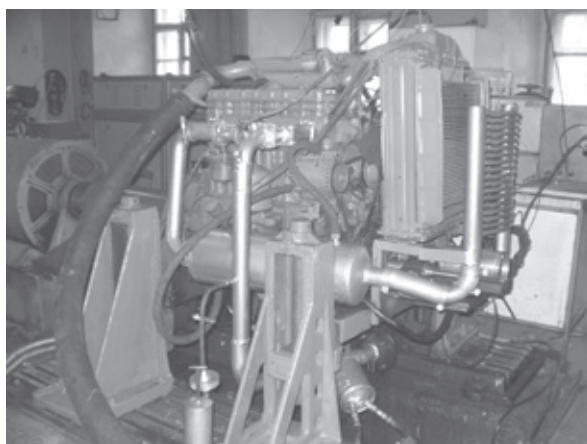


Рис. 1. Общий вид газодизеля 4Ч 11,0/12,5 с системой РОГ, установленного на стенде

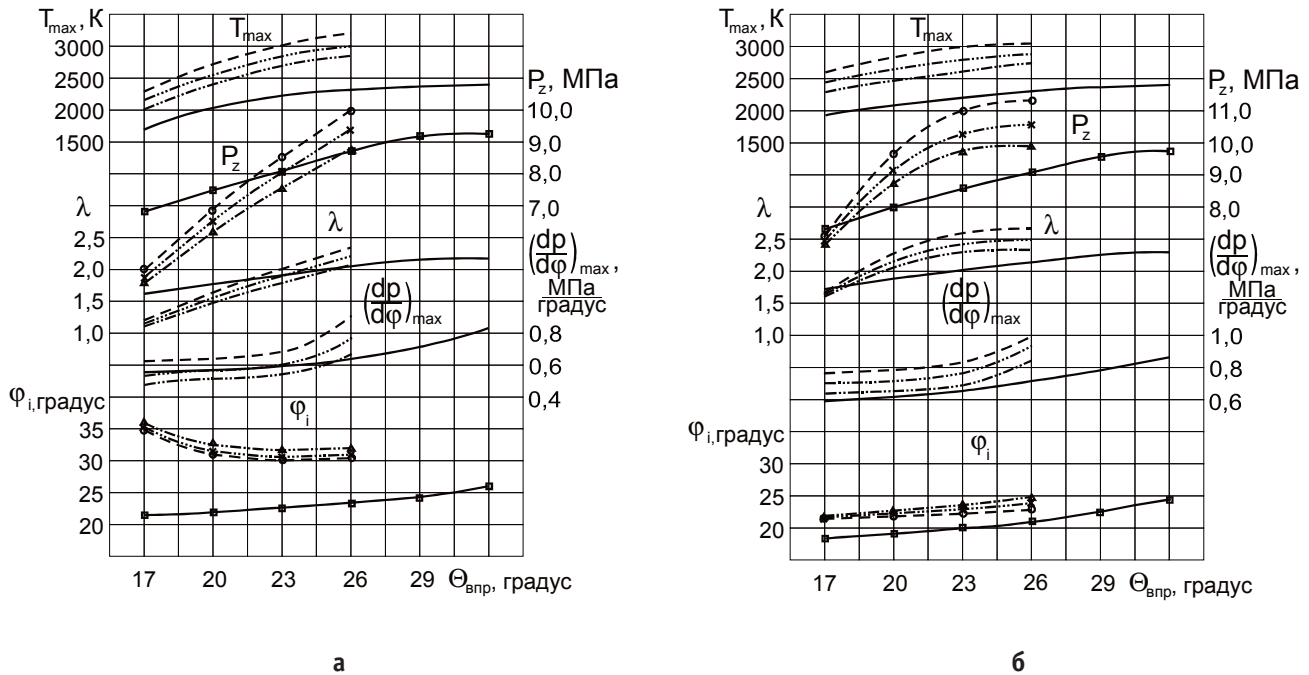


Рис. 2. Влияние применения РОГ на показатели процесса сгорания дизеля 4С 11,0/12,5 при работе на КПГ в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива: а —  $n = 2200$  мин<sup>-1</sup>; б —  $n = 1700$  мин<sup>-1</sup>;  $\square$  — дизельный процесс;  $\circ$  — газодизельный процесс;  $\times$  — рециркуляция 10%;  $\triangle$  — рециркуляция 20%

газодизельном процессе и всего на 1,2% отличается от дизельного процесса [6, 7].

Жесткость процесса сгорания при установочном угле опережения впрыскивания топлива 23 градуса при газодизельном процессе с 10%-ной РОГ составляет 0,60 МПа/град, что на 15,5% ниже чисто газодизельного процесса и на 36,8% ниже, чем при работе с 10%-ной РОГ при установочном угле опережения впрыскивания топлива 26 градусов.

Таким образом, по показателям процесса сгорания необходимо для газодизельного процесса с РОГ устанавливать угол опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{впр} = 23$  градуса вместо 26 градусов при дизельном процессе [8, 9].

Из графиков (рис. 2, б) можно отметить, что при работе по газодизельному процессу с РОГ снижается максимальное давление газов в цилиндре двигателя, одно-

временно снижается  $(dp/d\phi)_{max}$  и степень повышения давления. С увеличением степени рециркуляции увеличивается угол, соответствующий периоду задержки воспламенения [10].

Подводя краткие итоги, можно отметить, что уменьшение показателей процесса сгорания при работе дизеля на КПГ с РОГ объясняется, в первую очередь, ограниченностью коэффициента избытка воздуха, что приводит к увеличению угла, соответствующего периоду задержки воспламенения, то есть процесс сгорания протекает за меньший период времени и менее интенсивно, что в свою очередь будет препятствовать окислению азота метано-воздушной смеси в условиях недостатка кислорода, замедлять процесс образования оксидов азота в цилиндре и соответственно снижать содержание оксидов азота в отработавших газах дизеля.

Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метано- и этано- топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метано- и этано- топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
3. Лопатин, О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метано- и этано- топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в отработавших газах тракторного дизеля 4С 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 13–15.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с

5. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 28–30.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
7. 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.
8. 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.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
10. 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.

## ПИД-регулятор понижающего преобразователя напряжения

Межаков Олег Геннадьевич, магистрант;

Скляров Андрей Анатольевич, кандидат технических наук

Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета (г. Таганрог, Ростовская область)

*Рассмотрение вопроса построения ПИД-регулятора импульсного понижающего преобразователя и его моделирование в пакете прикладных программ «Matlab Simulink».*

### 1. Введение

Работа практически любой электронной схемы требует наличия одного или нескольких источников постоянного напряжения, причем в подавляющем большинстве случаев используется стабилизированное напряжение. В стабилизированных источниках питания применяются либо линейные, либо импульсные стабилизаторы. Несомненным достоинствам импульсных стабилизаторов относятся высокие значения коэффициента полезного действия, возможность получения больших величин выходного тока и высокая эффективность при большой разнице между значениями входного и выходного напряжений. Стабилизация выходного напряжения достигается путем регулирования времени открытого состояния силового ключа относительно периода переключения.

В данной работе рассматривается вопрос стабилизации выходного напряжения понижающего преобразователя посредством ПИД-регулятора путем исследования математической модели.

### 2. Передаточная функция понижающего преобразователя

Стабилизация выходного напряжения достигается путем регулирования величины рабочего цикла (*Duty cycle*) посредством обратной связи. Развитие полупроводниковых технологий позволяет создавать цифровую обратную связь, которая является конкурентом аналоговой (рис.1). Цифровая часть преобразователя может быть реализована как в одном корпусе микросхемы, так и состоять из отдельных микросхем показано пунктирной линией на рисунке 1.

Цифровой преобразователь обладает рядом преимуществ и недостатков в сравнении с аналоговым преобразователем напряжения. Например, программируемость позволяет изменять величину выходного напряжения без замены радиоэлементов в цепи обратной связи. Но программируемость требует знания языка программирования. Как в цифровом, так и в аналоговом преобразователе для расчета регулятора необходима передаточная функция (*Transfer Function (Fcn)*) силовой части преобразователя напряжения, которая получается из математической модели силовой части. Построение математической модели рассмотрено в работе [1], схема понижающего преобразователя показана на рисунке 2.

Система дифференциальных уравнений импульсного понижающего преобразователя в форме Коши:

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(V_{in} * d - U_{out}) \\ \frac{dU_{out}}{dt} = \frac{1}{C}(i_L - i_{out}) \end{cases} \quad (1)$$

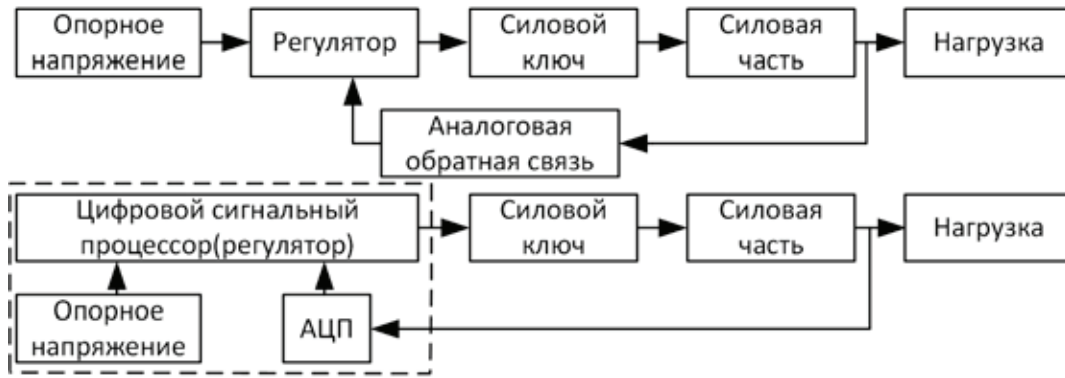


Рис. 1. Аналоговая и цифровая обратная связь понижающего преобразователя

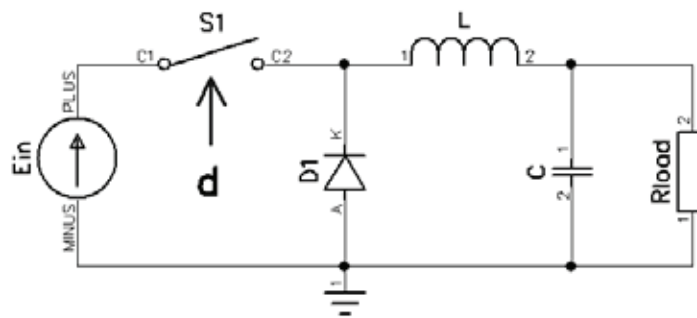


Рис. 2 Схема понижающего преобразователя

где:

$i_L$  - ток индуктивности,

$d$  - рабочий цикл (duty cycle),

$i_{out}$  - ток нагрузки.

Из первого уравнения системы (1) получаем произведение входного напряжения и рабочего цикла:

$$V_{in} * d = L \frac{di_L}{dt} + U_{out} \tag{2}$$

Применяем преобразование Лапласа к уравнению (2):

$$V_{in} * d = L * i_L * s + U_{out} \tag{3}$$

Из второго уравнения системы (1) получаем  $i_L$ :

$$\frac{dU_{out}}{dt} = \frac{1}{C} \left( i_L - \frac{U_{out}}{R_{load}} \right) \tag{4}$$

$$i_L = C \frac{dU_{out}}{dt} + \frac{U_{out}}{R_{load}} \tag{5}$$

Применяем преобразование Лапласа к уравнению (5):

$$i_L = C * U_{out} * s + \frac{U_{out}}{R_{load}} \tag{6}$$

Подставляя (6) в (3), и осуществляя перестановку членов, получаем передаточную функцию открытой системы (Open-loop):

$$\frac{U_{out}(s)}{d_s} = \frac{V_{in}}{s^2 + s \left( \frac{1}{R_{load} * C} \right) + \left( \frac{1}{L * C} \right)} \tag{7}$$

Классическая схема управления с единичной отрицательной обратной связью показана на рисунке 3.

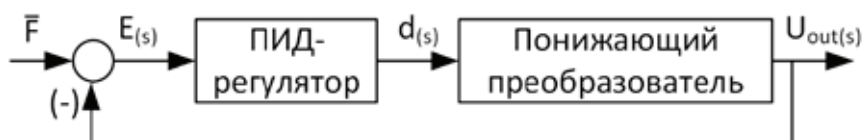


Рис. 3 Структурная схема закрытой системы

Назначение регулятора системы заключается в коррекции динамических свойств объекта управления с помощью управляющего сигнала  $d(s)$  так, чтобы реальный выходной сигнал  $U_{out(s)}$  как можно меньше отличался от желаемого выходного сигнала  $\bar{F}$ . Регулятор вырабатывает управление, используя ошибку регулирования  $E(s) = \bar{F} - U_{out(s)}$ .

Для оценки динамических свойств системы часто рассматривается реакция на единичное ступенчатое воздействие. Переходный процесс должен отвечать заданным показателям качества, к которым относятся время переходного процесса, перерегулирование и колебательность. Могут быть также использованы интегральные оценки качества переходного процесса.

Передаточная функция (TF) ПИД-регулятора имеет вид [2]:

$$TF = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right) \tag{8}$$

Общая передаточная функция системы, представленной на рисунке 3, определяется по формуле:

$$W_{общ} = \frac{W_1 * W_2}{1 + W_1 * W_2} \tag{9}$$

Подставляя в формулу (9) уравнения (7), (8), где  $W_1 = \frac{U_{out(s)}}{d_s}$ ,  $W_2 = TF$ , производим упрощение и получаем общую передаточную функцию системы дифференциальных уравнений импульсного понижающего преобразователя напряжения:

$$H(s) = \frac{(K_p * T_d * T_i * s^2 + K_p * T_i * s + K_p) \left( \frac{V_{in}}{L * C} \right)}{s^3 + \left( \frac{1}{R * C} + \frac{V_{in} * K_p * T_d}{L * C} \right) s^2 + \frac{(1 + V_{in} * K_p)}{L * C} s + \frac{V_{in} * K_p}{L * C * T_i}} \tag{10}$$

Номиналы элементов электрической схемы (рисунок 2) рассчитываются на основе заданных требований к преобразователю напряжения и известных входных параметров сети питания:

$$E_{in\_max} = 36\text{В}; U_{out} = 5\text{В}; f_{sw} = 200\text{кГц}; I_{out} = 5\text{А}; \Delta U = 0.1\text{В}; U_{ripple} = 0.04\text{В}$$

$\Delta U$  - максимальный выброс напряжения на выходе;  $U_{ripple}$  - пульсации напряжения на выходе.

Определяем коэффициент пульсаций тока индуктивности, величину индуктивности и емкость выходного конденсатора:

$$LIR = \frac{\text{желаемая пульсация}}{\text{ток нагрузки}} = \frac{0,3\text{А}}{5\text{А}} = 0.06 \tag{11}$$

$$L = (E_{in\_max} - U_{out}) * \frac{U_{out}}{E_{in\_max}} * \frac{1}{f_{sw}} * \frac{1}{LIR * I_{out}} = 7.176 * 10^{-5} \text{Гн} \tag{12}$$

$$C = \frac{\left[ L * \left( I_{out} + \frac{\Delta I}{2} \right)^2 \right]}{(\Delta U - U_{out})^2 - U_{out}^2} = \frac{\left[ L * \left( I_{out} + \frac{(E_{in\_max} - U_{out}) * \frac{U_{out}}{E_{in\_max}} * \frac{1}{f_{sw}} * \frac{1}{L}}{2} \right)^2 \right]}{(\Delta U - U_{out})^2 - U_{out}^2} \tag{13}$$

$$C = 1.884 * 10^{-3} \text{Ф}$$

Полученные значения (12, 13) и исходные данные подставляем в уравнение (7). Составим блок-схему в «Matlab Simulink» рисунок 4:

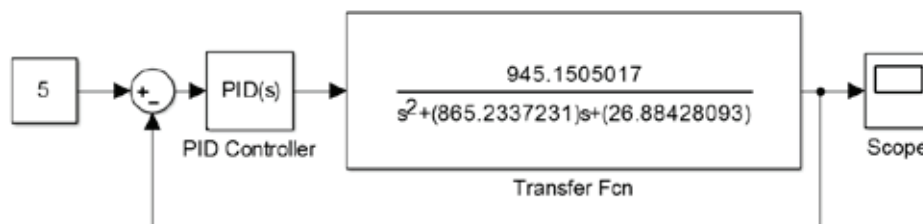


Рис. 4. Структурная схема закрытой передаточной функции в «Matlab Simulink»

Настройка ПИД-регулятора осуществляется с помощью встроенного приложения в «Matlab Simulink» «PID Tuner» (рисунок 5).

Моделируя передаточную функцию, получаем осциллограммы выходного напряжения приведенные на рисунке 6.

### 3. Заключение.

В данной статье рассмотрены вопросы:

- построения открытой и закрытой передаточных функции понижающего преобразователя напряжения
- настройки ПИД-регулятора для понижающего преобразователя напряжения с помощью «Matlab PIDTuning»

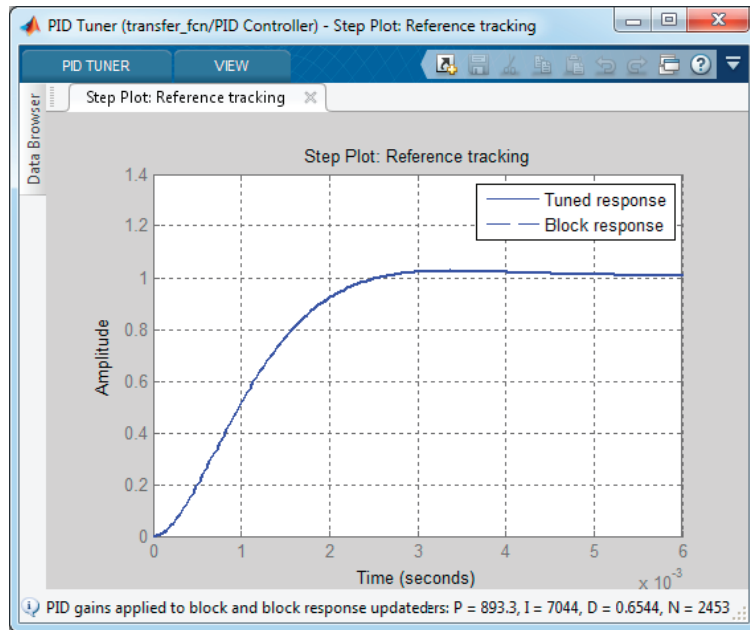
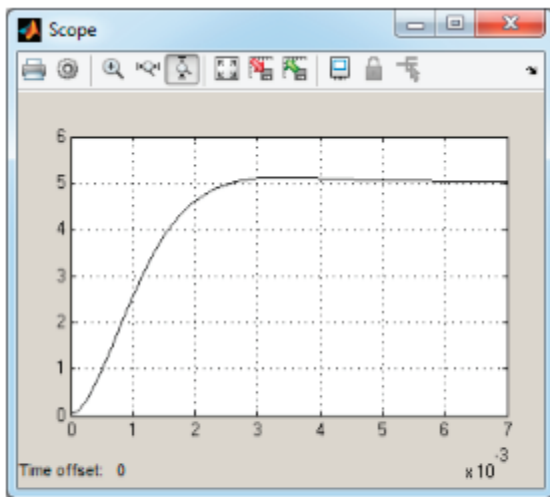
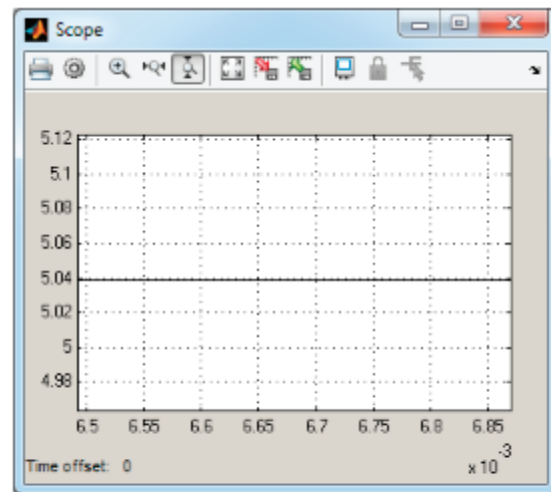


Рис. 5 Окно «PID Tuner»



А) Общая осциллограмма



Б) Осциллограмма стабилизированного напряжения

Рис. 6. Осциллограмма выходного напряжения закрытой передаточной функции

Анализируя осциллограммы выходного напряжения, можно сделать вывод, что ПИД-регулятор может быть применен для стабилизации напряжения в импульсном понижающем преобразователе напряжения.

Полученный ПИД-регулятор в дальнейшем будет исследован на устойчивость работы при внешних возмущениях.

Литература:

1. Межаков, О. Г. Математическая модель понижающего преобразователя напряжения // Молодой ученый. — Март 2015 — с. 171–176.
2. Katsuhiko Ogata «Modern Control Engineering» Fifth Edition.
3. В. С. Щербаков, А. А. Руппель, И. В. Лазута, С. А. Милюшенко «Автоматические системы управления в среде Matlab-Simulink», 2010 г.
4. Е. Э. Страшинин «Основы теории автоматического управления», 2000 г.
5. Marian, K. Kazmierczuk «Pulse-width modulated dc—dc power converters», 2008 г.



## Обоснование прикладного характера науки геометрии в научном трактате Джамшида Каши «Ключ арифметики»

Мирханова Манзура Аббасовна, старший преподаватель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Изучение великого научного наследия нашего народа — одна из основных задач современного общества. Известно, что великие учёные эпохи Средневековья, наши соотечественники Ал-Хорезми, Фараби, Абу Али ибн Сина, Абу Райхон Беруни, Улугбек и представители его школы внесли большой вклад в развитие мировой науки.

Одним из представителей школы знаменитого учёного Улугбека был Джамшид Каши. Уроженец города Кашан из Ирана, Джамшид Каши родился около 1385 года. около 1420 года был приглашён Улугбеком в Самарканд.

Он создал научные труды, посвященные точным наукам. Особого внимания заслуживают его рукописи «Ключ арифметики» и «Трактат об окружности». «Ключ арифметики» — это энциклопедия элементарной математики средних веков. Арифметика у Каши открывает широкую дорогу к большой математике. Многие народы Востока в течение веков переписывали и изучали «Ключ арифметики». В настоящее время рукописи этой книги хранятся в библиотеках Берлина, Лейдена, Парижа. Большой вклад в переводе и изучении старинных научных рукописей ал-Каши внесли учёные Б. А. Розенфельд, А. П. Юшкевич, Т. Н. Кары — Ниязов, М. А. Ахадова. Б. А. Розенфельд собрал все известные материалы, относящиеся к наследию Каши, и перевёл на русский язык «Ключ арифметики» и «Трактат об окружности». В результате этого труды Каши стали доступными для широкого круга читателей и заняли своё законное место в истории науки

«Ключ арифметики» состоит из следующих частей: 1 — арифметика целых чисел, 2 — арифметика дробных чисел, 3 — методы вычислений, 4 — вопросы измерения величин, 5 — алгебраические методы нахождения неизвестных величин.

Первая часть «Ключа арифметики» делится на шесть глав. Здесь рассматриваются индийские цифры, действия, проводимые над целыми числами — сложение, вычитание, умножение, деление, возвышение в степень и извлечение корней. Во второй части книги, состоящей из 12 глав, рассматриваются различные дроби. Здесь следует отметить создание Каши теории десятичных дробей. В третьей части книги, состоящей из 6 глав, излагается арифметика шестидесятичных дробей. Четвёртую часть «Ключа арифметики» составляют 9 глав, посвящённых вопросам геометрии и тригонометрии. Геометрия у Каши значительно приближена к практике. Здесь рассмотрены следующие вопросы: точка, прямые, углы, треугольники, четырёхугольники, многоугольники, круг и его части, плоскости, многогранники, круглые тела, шар и его части, задачи на геометрические построения, измерения длин,

площадей и объёмов, Применение геометрии и тригонометрии в строительном искусстве. Вопросы, связанные со строительством, Каши выделяет в отдельную главу. В этой главе излагаются методы определения элементов арок, сводов, куполов и сталактитов — тел, имеющих ступенчатые грани. Большинство из рекомендуемых методов принадлежат самому автору. Теоретический материал размещён последовательно и систематически, формулировки правил точные и ясные, из них видно, что автор является не только выдающимся математиком, но и крупным методистом. Каши уделяет должное внимание и наглядности: при доказательстве трудных теорем он пользуется чертежами.

«Об измерении других плоских поверхностей» — что касается площади поверхности, ограниченной кругообразной круглой линией и многоугольником, состояла бы из этих сегментов, ограниченных одной из построенных сторон и отрезком кругообразной линии, приближённо будет сегментом истинного круга и между ними не будет ничего. Что касается других поверхностей, как барабаноподобная, ступенчатая, зубчатая, с округлыми сторонами, — всё это просто для того, кто знает то, что мы сообщили, так как он может разбить их на указанные фигуры или прибавить к ним что-нибудь, чтобы, получить указанную фигуру, а после измерения вычесть из этого площадь излишка. В шестой главе «Об измерении круглых поверхностей, как поверхностей цилиндров, конусов, шара» учёный даёт определения пространственных геометрических тел: круглый цилиндр — это тело, ограниченное двумя равными параллельными кругами, являющимися его основанием и круглой поверхностью, соединяющей его основания таким образом, что если вращать прямую, соединяющую окружности оснований параллельно прямой, соединяющей центры оснований, она касается поверхности. Линия, соединяющая центры называется осью цилиндра.

Трактат «Ключ арифметики» можно считать учебным пособием своего времени, в котором приведены все сведения о действиях арифметики, даны определения геометрических элементов — точки, линии, поверхности, линий, плоскости. Проводятся действия измерения и построения углов, различных плоских геометрических фигур, многогранников, поверхностей вращения.

В своей рукописи «Ключ арифметики» Джамшид Каши также описывает строение и чертежи различных архитектурных элементов: арок, куполов, сталактитов. Не исключено, что неповторимые шедевры архитектурного зодчества стран Средней Азии, созданные в XV и последующих веках, основаны на этих построениях.

Архитектурная глава «Ключа арифметики» представляет значительный интерес для истории науки. Глава содержит изложение способов построения и измерения таких широко распространённых в зодчестве стран Ближнего и среднего Востока архитектурных форм и конструкций, как стрельчатые арки, своды, купола и сталактиты. Арки, своды, купола получили широкое распространение в русской и в западноевропейской архитектуре, сталактиты же (мукарнас) являются специфической архитектурной деталью зодчества средневекового Востока. Сталактиты представляют собой систему расположенных в несколько ярусов и нависающих одни над другими многогранных призм с плоскими или кривыми гранями. Образованные сочетанием призм ячейки создают живописную игру светотеневых пятен. В целом сталактитовые композиции напоминают известковые сталактиты пещер, откуда они и получили свое наименование в русской и западноевропейской литературе. Первоначально сталактиты представляли собой конструктивный прием для перехода от помещения с квадратным основанием к перекрывающему его круглому куполу. Для этой цели служили выпущенные в углах помещения ряды кирпичной кладки, нависшие друг над другом. Впоследствии сталактиты постепенно превратились в декоративный прием для заполнения внутреннего пространства порталных ниш, украшения карнизов, балкончиков минаретов и т.д. сталактитовые композиции обладают огромным многообразием художественных форм. Жамшид Каши описывает форму сталактитов: «Это такое покрытие, которое имеет

ступенчатое грани. Поверхность каждой его грани пересекается с соседней под прямым углом, под половиной прямого угла, под полутора прямыми углами или под другими углами. Эти углы прямые на поверхности, параллельной горизонту, на них опирается плоская поверхность, не параллельная горизонту, или две плоские, или две кривые поверхности. Грани вместе с их покрытием называют одной ячейкой. Соседние ячейки, основания которых находятся на одной плоской поверхности, параллельной горизонту, называют одним ярусом. Наибольшую величину угла основания грани называют модулем сталактитов».

Автор приводит изображение сталактитов, декорирующих переход ствола минарета к балкончику для муэдзина, упоминавшегося выше медресе Улугбека в Самарканде.

Значение настоящей главы для истории науки определяется тем, что архитектурной науке крайне мало известно о той предварительной проектной работе, которая предшествовала возведению монументальных сооружений средневекового Востока. Настоящая глава является первым известным науке документом, характеризующим математическое обоснование тех приемов построения указанных архитектурных форм и конструкций, которыми и были вооружены зодчие средневекового Востока для осуществления своих архитектурных замыслов. Изучение культурного и научного наследия и ознакомление его с подрастающим поколением воспитывает его в духе патриотизма, даст ему стремление к новым открытиям в науке.

#### Литература:

1. Джамшид Гияседдин ал-Каши. Ключ арифметики. Трактат об окружности». Перевод с арабского Б.А. Розенфельда. Гос. издательство ТТЛ. Москва, 1956 год.

## Понятия о геометрических образах и методах их проецирования в научных трудах среднеазиатского учёного Абу Райхана Бируни

Мирханова Манзура Аббасовна, старший преподаватель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

**А**бу Райхан Бируни родился в 973 году, в городе Кяте, древней столице Хорезма (ныне город Бируни, Каракалпакстан).

Кят в эпоху Бируни был центром ремесленного производства и крупным торговым пунктом страны. В Кяте Бируни получил широкое и разностороннее образование. В науке Бируни проявил себя прежде всего, как астроном. В возрасте 21–22 лет Бируни конструирует астрономические инструменты и применяет их для определения координат многих населённых пунктов Хорезма, пишет научные трактаты, в том числе «Трактат о проектировании

созвездий и изображении стран на плоскости» («Картографию»). Однако вскоре политические события вынудили Бируни прервать научные занятия и покинуть родину. Он переезжает в города Рей, Гурган, ведёт там научные исследования и научные трактаты. Через некоторое время Бируни возвращается в Хорезм и поселяется в его столице — Ургенче и продолжает свою научную деятельность. По своему духовному облику Бируни олицетворял тип учёного, безраздельно и бескорыстно преданного науке, вся жизнь которого состояла в неустанных поисках истины. Большая часть трудов Бируни посвя-

шена наукам физико-математического и геолого-географического направлений.

Много интересных мыслей высказывает Бируни и по вопросам социологии, этики. Бируни является учёным-энциклопедистом, работавшим в нескольких областях науки: астрономии, математики, географии. В то же время он был конструктором астрономических приборов — астролябий, для изготовления которых Бируни предварительно выполнял их чертежи. Рассмотрим взгляды учёного на геометрию и ознакомимся со способами проецирования, которые он предлагает. Эти сведения будут целесообразны при изучении истории графических дисциплин, в том числе и истории начертательной геометрии.

Деятельность математиков Ближнего и Среднего Востока в области геометрии имеет источником также перевод и комментирование геометрических книг «Начал» Евклида. Большинство трактатов по геометрии на средневековом Востоке, следуя структуре этих книг, начинается с основных определений.

Геометрии посвящена I часть (71 на 530 вопросов и ответов) «Науки звезд».

Бируни начинает с определения геометрии: «Это наука о величинах и количествах по отношению друг к другу, учение о свойствах их форм и о фигурах, присущих телу. Она превращает науку о числах из частной в общую и переводит астрономию из области догадок и предположений на почву истины». О «превращении науки о числах из частной в общую» мы говорили выше. Слова же о том, что геометрия «переводит астрономию из догадок и предположений на почву истины», указывают на то, что Бируни считал подлинно научной только такую астрономию, которая основана на геометрическом объяснении движений небесных тел.

Далее следуют определения основных геометрических понятий, главным образом по Евклиду. Для плоскости и прямой Бируни даёт определения, он также определяет угол и его виды (острый, прямой и тупой), круг и линии в круге, виды треугольников и линий в треугольнике, виды четырёхугольников, параллельные прямые и углы при них, параллелограмм, вписанные и описанные фигуры. В трактате «Астролябия» Бируни описывает построение конических сечений, оно производится с помощью специального циркуля, называемого «совершенным циркулем», который впервые применил современник Бируни — Абу Саха Кухи. Неподвижная ножка совершенного циркуля может быть закреплена в вертикальной плоскости, под углом к горизонтальной плоскости, а подвижная ножка, длина которой может меняться так, чтобы карандаш всегда находился на горизонтальной плоскости, составляет с неподвижной ножкой угол. При вращении циркуля подвижная ножка последовательно занимает положение всех прямолинейных образующих наклонного кругового конуса, осью которого служит неподвижная ножка.

В разделе «Науки звёзд», посвящённом стереометрии, Бируни определяет куб, призму, прямой и наклонный ци-

линдры, конусы и конические сечения, сферу, сферические фигуры, пять правильных многогранников. Бируни перечисляет пять конических сечений: треугольник, круг, эллипс, гиперболу, параболу. Далее он рассматривает пять правильных многогранников: первый из них «куб, обладающий шестью квадратами». «Второе, обладающее двадцатью треугольниками» (икосаэдр). «Третье обладающее восемью треугольниками» (октаэдр). «Четвёртое, обладающее четырьмя треугольниками» (тетраэдр). «Пятое, обладающее двенадцатью пятиугольниками» (додекаэдр). Бируни рассматривает тела вращения, имеющие «яйцевидную» или «чечевицеобразную» форму, т.е. вытянутые и сплюснутые эллипсоиды вращения.

Задаче проектирования сферы на плоскость Бируни посвятил специальный «Трактат о проектировании созвездий и изображении стран на плоскости» («Картография»). Он рассматривает некоторые виды проектирования сферы на плоскость, они применялись при изображении земной поверхности на картах. На средневековом Востоке большей частью применялось проектирование сферы из одного её полюса на экваториальную плоскость или плоскость, параллельную ей. Это так называемая стерео графическая проекция. Бируни описывает и более общий метод проектирования сферы на плоскость, предложенный его современником Сагани. В этом случае сфера проектируется из точки её оси, не лежащей на её поверхности, на одну из плоскостей, перпендикулярных оси. «Абу Хамид ас-Сагани перенёс вершины конусов и поместил их внутри сферы или вне её на одной прямой с осью» [1]. Здесь мы видим элементы центрального проецирования современной начертательной геометрии.

К ранее известным методам проекций Бируни предложил собственный метод — проекцию, которую он назвал «цилиндрической», то есть параллельное проектирование сферы на плоскость вдоль оси этой сферы. Вот как сам Бируни его описывает: «Цилиндрическая проекция состоит в том, что через круги или точки на сфере проходят линии или плоскости, параллельные оси; таким образом на плоскости дна получаются точки, прямые линии и эллипсы».<sup>1</sup> Этот способ соответствует более совершенному способу — методу параллельного проецирования. Бируни предложил ещё один вид проекции, удобный для изображения полусферы на плоскости. В этом случае меридиан, ограниченный полусферой изображается окружностью, перпендикулярный ей меридиан и экватор — горизонтальным и вертикальным диаметрами этой окружности. Вопросам проектирования сферы на плоскость был посвящён также несохранившийся трактат Бируни «Совершенство искусства проектирования на плоскость».

Как видим из вышеизложенного, в трудах Бируни приведены точные геометрические определения, описание и классификация геометрических образов. Большое внимание уделено методам проецирования сферической поверхности, применение этих геометрических построений при изучении других наук — астрономии, географии. Решение подобных задач помогает развитию простран-

ственного мышления. Учёный обосновывает методы проектирования геометрических образов на плоскость, их изображение, изображает поверхность Земли, то есть занимается картографией.

Методы изображений, окружающих нас предметом интересовало человечество на всех стадиях его развития. Над этой проблемой Бируни вёл исследования и внёс определённый вклад в теорию и практику получения проекций, то есть изображений геометрических тел, и на этой основе разработал изображения земной поверхности — одним из первых на Востоке создал картографию. Не-

сомненно, Бируни изучал научные труды своих предшественников, как Архимед, Евклид, Платон, Хорезми, Фараби, активно общался с учёными-современниками, вёл научные переписки со знаменитым учёным того времени Абу Али ибн Синою. Несмотря на сложные жизненные ситуации, на основе своих знаний, опыта, исследований, экспериментов и выводов он создавал научные труды, написанные на языке своего народа, чем внёс неоценимый вклад в развитие науки и просвещения своего времени и оставил огромное научное наследие всему человечеству.

Литература:

1. Б. А. Розенфельд и др. «Абу-р-Райхан ал-Бируни». Издательство «Наука». Москва, 1973 год.

## Изучение и анализ национальных узоров с целью автоматизации процесса их создания

Мухаммедова Рухсора Бахромовна, преподаватель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Всякое произведение искусства носит в себе печать времени. В жизни есть вечные, не преходящие начала и рядом с ними следы времени, века. Творчество в каждую эпоху отмечено определенным стилем, устойчивыми мотивами, которые приняли от предыдущих поколений, прообразы которые мы неизбежно встречаем в далекой старине, в мифах и легендах. Если обратиться к древним изобразительным мотивам, то можно заметить, что у различных народов истоки и смысл образов был идентичен. Любые изображения изначально носили религиозный, мистический, магический смысл. Они передавались из поколения в поколение и порою забытые символы, имеющие только эстетическое звучание, подсознательно оказывают на нас магическое влияние.

Круг, крест, ромб — наиболее популярные символы солнца в традиционном искусстве всех народов. В Средней Азии эти символы существуют издавна, часто в сочетании с другими солярными и астральными знаками. В ряду символических знаков первое место занимают квадрат, разделенный на четыре части, крест с четырьмя точками, круг с вписанным в него крестом, и другие близкие по характеру геометрические фигуры. Круг — оберег от злых сил, это символ Бога, Солнца, Вселенной. Это самая гармоничная и совершенная фигура, имеющая множество смыслов. В самом названии узора, включающего круг, уже была заложена охранная магия. Иногда «солнце» походило на колесо со спицами и шляпками на ободе («Колесо жизни»). Центр колеса безмерная тоска, обод — неизмеримая окружность, его внутреннее пространство заключает в себе добро и зло, жизнь и смерть, тьму

и свет. Изображение «Колеса жизни» связано с крестом, свастикой — символами солнца, огня небесного, «вихревого знака». Оно имело два смысла если оно направлено направо — это символ вечного движения, рождения, если влево — символ разрушения, смерти. В Индии колесо бога солнца — это круг со спицами, а в Согде колесо с перлами — это своего рода ожерелье, символ светила и царства света, куда вступает усопший.

Солярные знаки и символы издавна сочетались с животным миром астрального значения. В искусстве горцев Средней Азии небесные светила обозначались большей частью кружком или диском. В степной зоне распространены бараньи рога. Кресты с вздутиями в центре, прямые и косые сочетались с украшениями каплевидной и грушевидной формы. В них усматривается еще и стилизация растительных форм. В Средней Азии крест был известен в виде равноконечного креста, крестообразных ступенчатых фигур, вписывавшихся иногда в окружность, и сочетания треугольников. Кресты из треугольников чередуются порой с крестами, вписанными в полуокружность. На Востоке крест символизировал солнце, композиция из Луны с крестом означала неразрывность, единство мужского и женского начал, символ супружества.

Треугольник — глаз Бога, символ расставания, основанием вниз — мужской символ, основанием вверх — женский. Соединенные вместе они давали начало новой жизни. Если треугольники имели общее основание, то получался ромб — символ женского начала или солярный знак.

Квадрат — олицетворение четырех частей света, символ дворца небесного, вечность. Одним из самых

распространенных мотивов мусульманского орнамента является восьмиконечная звезда. Ее значение символично. Арабская надпись «Аллах» включает четыре вертикальные линии, передающие буквы этого слова. Если из них составить квадрат, то он будет являться символом Каабы. Если этот квадрат повернуть на 45° и наложить на второй такой же, то образуется восьмиконечная звезда. Пятиконечная звезда в исламском искусстве — символ краткости жизни, полумесяц — символ ислама, процветания и роста. Пятиугольник — пять заповедей ислама. Звезды — символ независимости и божественности.

Спирали, вертящиеся диски, концентрические круги, вписанные в круги кресты, розетки, звезды и зигзаги относятся к космогоническим символам. Волнистый и струйчатый узоры олицетворяют потоки животворящей силы. Абр-и-бахор — «весеннее облако», символ дождя и связанного с ним плодородия.

Стилизованные изображения животных, птиц и фантастических существ у древних являлись тотемами, которые нередко превращались в своеобразный герб. Зооморфные изображения часто отличались двойственностью, сочетая в себе свойства разных животных. Так, художественные ткани украшают крылатые кони, крылатые львы, известные по настенной росписи Афрасиаба, верблюды с крыльями — в росписях Пянджикента.

К животным, чьи изображения особенно устойчивы в прикладном искусстве Средней Азии, относятся горный баран и козел. Рога и копыта этих животных вошли вековыми образами в богатое искусство кочевых народов и стали непременной частью национального орнамента народов Центральной Азии и входят в культы как атрибуты божеств и деятельных участников мистерий, олицетворяя тайные силы природы. Они же — знаки Зодиака. Как символ, он стал одним из ведущих элементов орнамента и метафорой, вошел в классическую поэзию и фольклор. Они жертвенные животные, их, согласно ритуалам местных культов, украшают бубенцами, повязками, шарфами, сохранив присущие им в древнем искусстве красоту движений, пластику и яркость образного выражения. В согдийских тканях они изображены вдоль каймы или вписываются зеркально, парами, в круги из перлов. Функции оберега рога барана исполняли задолго до появления ислама и в более поздние эпохи и даже в наши дни.

Птицы были носителями идеи, символа, метафоры. Птица — знак, символ и чувственный образ мироздания и природы, который вмещает в себя физический и духовный мир. Они воплощают душу человека и являются посредниками между реальным и мифическим миром. Птицы и «Древо жизни» связаны друг с другом — птица с листом в клюве — это функция посланника. Петух, павлин и фазан относились к «солнечным» птицам, носителям идей света, красоты и благоденствия. Петуху приписывалась защитная функция, он считался муэдзином животных. Мифопоэтический образ павлина, благодаря форме хвоста имеет астральную символику. Это

Космос во всей его полноте, звездное небо с лунным и солнечным кругами. Образ павлина, обрамленный растительным орнаментом, воплощает идею райского сада. Орел — царь птиц, символ династий и астрально-космического понятия. Фазан, куропатки — это носители идеи света, красоты, благоденствия. Сокол — космические силы и знак геральдики. Голубь — атрибут женского божества. «Птица счастья» парит над цветами, разбросанными на вышитых тканях. Это метафора, в ней выражена радость, счастье, солнце, свет, любовь, весь мир поэтических иносказаний. Птица вплетается в растительный орнамент, заполняющий фон эпиграфических надписей, или подобно другим обитателям райского сада участвует в многофигурных сценах. В позднем средневековье птица исчезает, уступая безудержному господству растительной и геометрической арабески.

Змея, рыба, дельфин, лягушка — это животные, олицетворяющие потусторонний мир. Змея почитаема в культурах и религиях всех времен и народов. Змея, ящер — древнейшие антиподы света и добра. Змея — образ, распространенный у ранних земледельцев, связанный с женским божеством, идеей плодородия и бессмертия. Круг образов, связанных со змеей, огромен в связи с почитанием змей, как оберега и носителя зла. Образ этот явно космогонический. В искусстве раннего средневековья древо и змея находятся в связи с изображениями двух горных баранов, стоящих по сторонам древа. Змея — охранитель и украшение трона и знак Зодиака. Змея не только предмет магии, колдовства, заклинания, но и один из символов мировой мифологии и искусства. Со змеей ассоциируются темные силы природы, воды, подземное царство. На уровне этических норм и понятий — это нечисть, болезнь, зло. Змея — царь мрака, исчадие ада, носитель гибели. Вместе с тем, змея — охранитель и оберег, защитник людей, страж дома, символ благополучия.

Растительный орнамент родился на основе наблюдения за природой. Часто встречающееся изображение «Древа жизни» связано с древними мифами, воплощая понятие рая, источника жизни. Оно часто изображается со светилами, конями, быками, сказочными существами. Древо со светилами, птицами, конями — символ неба; древо со зверьми — символ подземного мира. На шелковых тканях встречаются композиции геральдического смысла и значения, связанные обычно с идеей древа, которое стерегут два льва. «Букет цветов», «ваза», «древо в вазе» радуют глаз, являясь эстетическим моментом.

Плод граната, является выражением магических идей плодородия, символом изобилия, сытости, благоденствия. Цветок барбариса — символ продолжительности жизни и спокойствия, лотос — чистоты, совершенства и красоты, фиалки — застенчивости, мак — тишины и сна, лилии — благородства, их белизна — чистоты помыслов, нарциссы — знания, синоним глаза или глазного зрачка («нарцисс зрячий», «нарцисс плачущий»). Ирис-понятие единства противоположностей, его форма подразумевает двойственность природы земного владыки, ко-

торого с одной стороны вдохновляют высокие духовные, а с другой — неизменные помыслы — это символ скорби.

Орнамент, который называют «бодом», «каламपुर», «восточный огурец», считается божественным благоволением, оберегом от болезней — это космический символ возрождения, мироздания. Тюльпан ассоциировался с символами пробуждающейся природы, со встречей Навруза, он был символом красоты, любви, невинности. Бутон тюльпана означал сердце влюбленного, а его лепестки — уста влюбленной.

Зерно — символ плодородия, начало и зарождение новых всходов.

В орнаменте широко встречается и предметная тематика, имеющая также символическое значение. Офтоба — символ живой воды. В древних изображениях он встречается как сосуд, из которого растет «Древо жизни». Острые

и остроконечные предметы имеют особое значение, как амулеты, оберегающие и отгоняющие несчастья и злых духов; они являются символом жизненной силы.

Мастера, изображая птиц и животных, придавали им сходство с растениями — это процесс флоризации. Так, хвост у птицы завершался пышным кустом, пасть хищника превращалась в завиток, хвост в пальметту, крылья трактовались ритмичными линиями или кружочками.

В орнаменте была и символика цвета, связанная с психологией его восприятия. Так синий цвет был оберегом, символом постоянства, правосудия, совершенства, размышления и мира; красный — победы, олицетворения радости; белый — чистоты, счастья, целомудрия и удачи; желтый — священности; зеленый — цветом весны, природы, свободы, радости, возрождения, символом бессмертия.

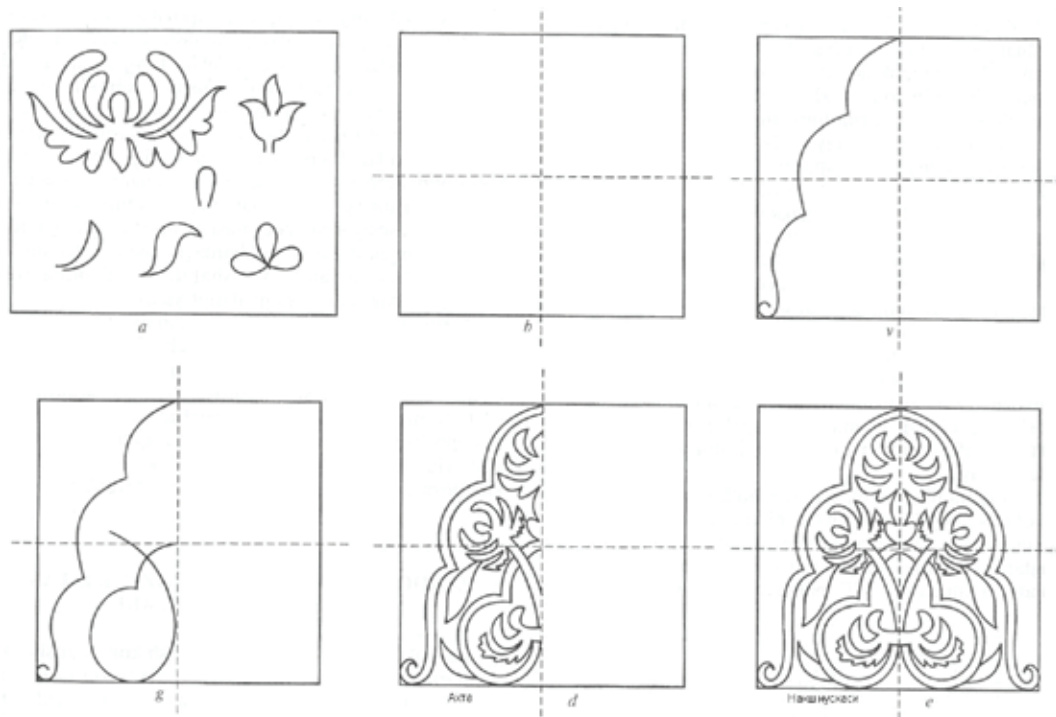


Рис. 1. Этапы создания узоров орнамента

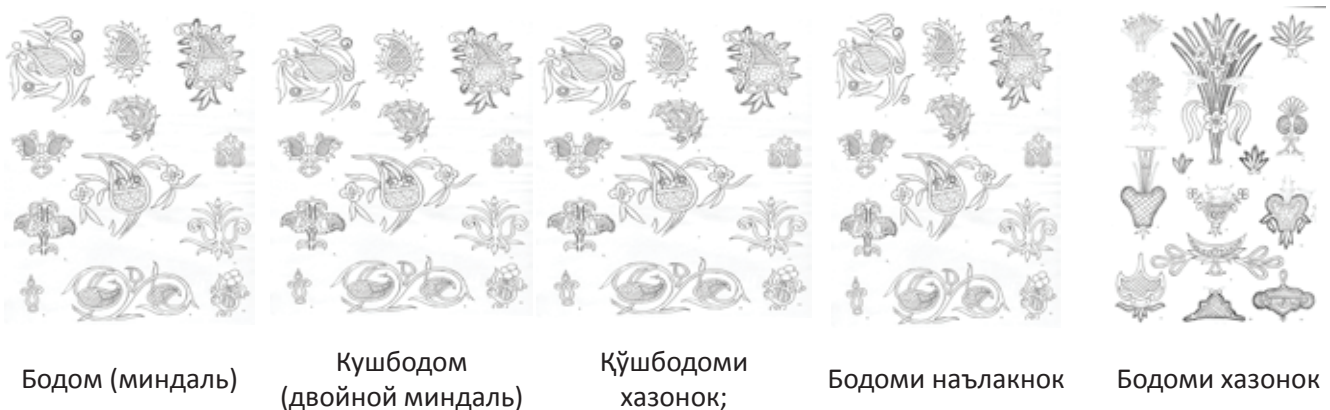


Рис. 2. Элементы узоров орнамента

Позднее орнамент становится все более декоративным, связь с изображением утрачивается, уменьшается значимость узоров, забываются магические и ритуальные функции символического орнамента. Современность

их наполняет новым содержанием, вносит в них новый смысл, придает им новое звучание: он несет в себе генную память о прошлом и вводит нас в будущее, поражая нас богатством мироздания и потоком символов.

## Способ совершенствования технологии производства сырокопченых колбас

Нагарокова Дариет Казбековна, студент;  
Кенийз Надежда Викторовна, кандидат технических наук, старший преподаватель  
Кубанский государственный аграрный университет (г. Краснодар)

В последние годы успехи научных исследований в области биотехнологии привели к разработке новых технологий, позволяющих ускорить производство сырокопченых колбас, улучшить их органолептические свойства и значительно повысить гарантию производства высококачественных продуктов. Одним из способов интенсификации технологического процесса сырокопченых колбас является использование стартовых культур [1, 25, 2, 1150].

При разработке усовершенствованной технологии сырокопченых колбас нами ставились следующие задачи:

- интенсификация технологического процесса за счет ускорения созревания колбас;

- подавление нежелательной микрофлоры и ускорение роста стартовых культур;

- получение продукта с высоким качеством;
- применимость предлагаемых решений на любом предприятии без значительной подготовки [3, 45].

Опытно-промышленная апробация осуществлялась на ЗАО «Мясокомбинат «Тихорецкий» в соответствии с ТУ 9213–006–00422020–2002 «Колбасы сырокопченые полусухие. Технические условия», разработанными специалистами мясокомбината. Для проведения опытно-промышленной апробации нами была выбрана рецептура колбасы «Тихорецкая», которая представлена в таблице 1.

Таблица 1. **Рецептура колбасы сырокопченной «Тихорецкая»**

Наименование сырья и материалов	Контроль	Опыт
Сырье и материалы, кг (на 100 кг сырья)		
Говядина жилованная высшего сорта	40	40
Свинина жилованная полужирная	35	35
Шпик хребтовый, боковой	25	25
Итого:	100	100
Пряности и материалы, г (на 100 кг несоленого сырья)		
Соль поваренная пищевая	3200	3200
Фиксатор окраски нитрит натрия	10	10
Сахар-песок	500	500
Кардамон или мускатный орех	50	50
Перец черный или белый молотый	150	150
Перец душистый молотый	50	50
Декстроза	400	400
Стартовые культуры Альми 2	20	15
Выход готового продукта%	64,0	64,0

По предварительным нашим результатам исследований [4, 79, 5, 790, 6, 217] для обеспечения нормальной ферментации было обосновано использование меньшего количества стартовых культур. Поэтому в исследуемом образце мы использовали меньшее количество стартовых культур в количестве 15 г. Так как технологическая инструкция предполагает возможность использования стар-

товых культур, было принято решение провести сравнение между возможными рецептурами [7, 1135, 8, 1119].

Для опытной партии мясное сырье предварительно укладывали в тачки толщиной не более 30 см и обрабатывали НЧ ЭМП с частотой 100 Гц в течение 30 минут и направляли на подмораживание до температуры минус 3 ± 2 °С в толще куска в течение 8–12 часов.

После измельчения говядины добавляли для опытной партии, активированные НЧ ЭМП стартовые культуры Альми 2 и куттеровали 0,5–1,0 мин, затем добавляли специи, соль нитрит натрия и делали 2–3 оборота чаши куттера, загружали свинину, куттеровали в течение 0,5–1,0 мин до получения равномерно измельченного мяса, добавляли шпик и куттеровали еще 0,5–1,0 мин.

Остальные технологические операции выполнялись в соответствии с ТУ 9213–006–00422020–2002.

В ходе опытно-промышленной апробации были отслежены три показателя: значение рН, массовой доли влаги и КМАФаНМ.

Показатели изменения величины рН представлены на рисунке 2.

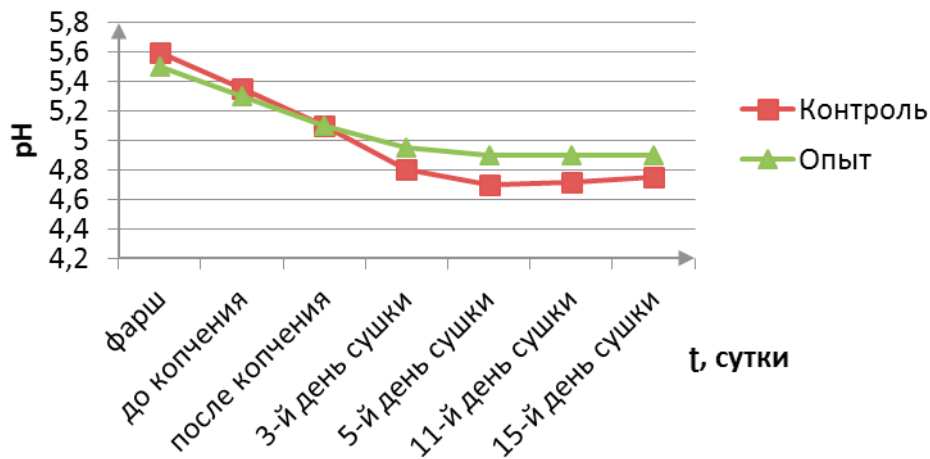


Рис. 2. Изменения величины рН в процессе осадки, копчения и сушки сырокопченых колбас

Как видно на рисунке 2, снижение рН в опытной партии на первых этапах производства происходит быстрее. Это обусловлено быстрым развитием стартовой микрофлоры подверженной активации ЭМП НЧ.

Скорость сушки зависит от нескольких факторов: рН фарша, температуры, влажности и скорости движения воздуха [9, 1710, 10, 94]. При производстве сырокопченой колбасы на первом этапе (осадке) происходит медленное смещение величины рН в кислую сторону. Приближение

рН фарша к изоэлектрической точке уменьшает влаговсвязывающую способность, что увеличивает отдачу влаги в окружающую среду [11, 225].

Анализ рисунка 3 показывает, что отдача влаги усиливается во время копчения у всех образцов. Однако у опытного образца потеря влаги происходит более интенсивно. Диффузия влаги от центра к внешним слоям колбас происходит более интенсивно в случае сохранения микропор в фарше [12, 779].

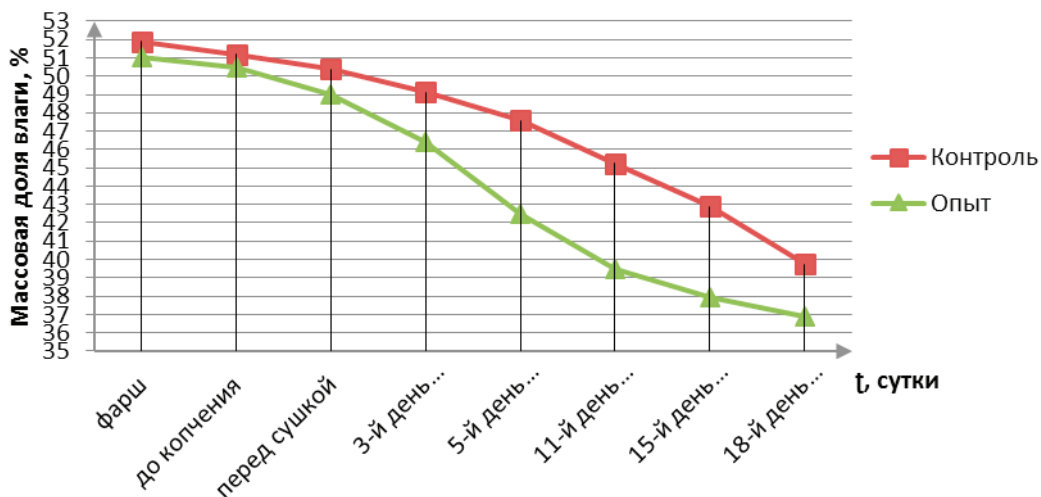


Рис. 3. Показатель массовой доли влаги от продолжительности сушки



Рост микрофлоры сырокопченых колбас от составления фарша до готового продукта представлен в таблице 2.

Интенсивный рост микрофлоры сырокопченной колбасы по опытной партии обусловлен предварительной активацией стартовых культур ЭМП НЧ, при этом основная часть микрофлоры — это вносимые стартовые культуры. Интенсивное развитие стартовой микрофлоры приводит к интенсивному образованию молочной кислоты и пони-

жению величины рН фарша, а также интенсивное развитие стартовых культур ингибирует развитие патогенной микрофлоры. Это очень важно при ускоренном сроке созревания колбас [13, 1725].

Установлено, что при применении ЭМП НЧ продолжительность технологического процесса производства сырокопченых колбас сокращается на 7 суток и составляет 14 суток, улучшаются органолептические показатели, консистенция.

Таблица 2. Количественное изменение микрофлоры сырокопченых колбас в процессе производства

Период исследования	Количество микрофлоры КМАФАнМ КОЕ/г продукта	
	Контроль	Опыт
Фарш после составления	$3,3 \times 10^5$	$2,1 \times 10^6$
Колбаса до копчения	$3,5 \times 10^5$	$2,4 \times 10^6$
После копчения	$1,2 \times 10^6$	$9,0 \times 10^5$
На 3-й день сушки	$8,1 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$
На 5-й день сушки	$9,3 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
На 11-й день сушки	$5,1 \times 10^3$	$4,0 \times 10^2$
На 15-й день сушки	$8,4 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Литература:

1. Шхалахов, Д. С. Исследование биологической ценности сырокопченной колбасы / Д. С. Шхалахов, А. А. Нестеренко, Д. К. Нагарокова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 51. — с. 148–152.
2. Шхалахов, Д. С. Изучение биомодификации мясного сырья стартовыми культурами / Д. С. Шхалахов, А. А. Нестеренко, Д. К. Нагарокова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 51. — с. 145–148.
3. Нестеренко, А. А. Применение консорциумов микроорганизмов для обработки мясного сырья в технологии колбасного производства [Текст] / А. А. Нестеренко, Д. С. Шхалахов // Молодой ученый. — 2014. — № 13. — с. 71–75.
4. Шхалахов, Д. С. L'intensification de la technologie des saucissons fumés [Текст] / Д. С. Шхалахов, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2015. — № 2. — с. 233–238.
5. Шхалахов, Д. С. Use of electromagnetic processing in technology smoked sausages [Текст] / Д. С. Шхалахов, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2015. — № 2. — с. 229–233.
6. Нагарокова, Д. К. Stimulation of growth of starting cultures by an electromagnetic field [Текст] / Д. К. Нагарокова, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2015. — № 2. — с. 182–185.
7. Нагарокова, Д. К. Studying of action of starting cultures on meat raw materials [Текст] / Д. К. Нагарокова, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2015. — № 2. — с. 178–182.
8. Интенсификация процесса изготовления сырокопченых колбас (инновационные технологии): монография / Н. В. Тимошенко, А. М. Патиева, А. А. Нестеренко, Н. В. Кенийз. — Краснодар: КубГАУ, 2015. — 163 с.
9. Нестеренко, А. А. Исследование биологической ценности колбасных изделий с применением новой технологии / А. А. Нестеренко, К. В. Акоюн // Вестник Казанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 3 (33) — с. 91–94.
10. Нестеренко, А. А. Функциональные мясные продукты, получаемые при помощи биомодификации [Текст] / А. А. Нестеренко, Д. С. Шхалахов // Молодой ученый. — 2014. — № 13. — с. 76–79.
11. Нестеренко, А. А. Разработка технологии производства сырокопченых колбас с применением электромагнитной обработки мясного сырья и стартовых культур: дис... канд. техн. наук: 05.18.04 / Нестеренко Антон Алексеевич. — Воронеж, 2013. — 185 с.
12. Нестеренко, А. А. Выбор и исследование свойств консорциума микроорганизмов для обработки мясного сырья / А. А. Нестеренко, К. В. Акоюн // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 07 (101). с. 1702–1720. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/111.pdf>.

13. Нестеренко, А. А. Биомодификация мясного сырья с целью получения функциональных продуктов / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 07 (101). с. 1721–1740. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/112.pdf>.
14. Нестеренко, А. А. Инновационные методы обработки мясной продукции электромагнитно-импульсным воздействием [Текст] / А. А. Нестеренко, А. И. Решетняк // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. — Мичуринск, 2011. — № 1. — с. 148–151.
15. Нестеренко, А. А. Физико-химические показатели сырья после внесения стартовых культур [Текст] / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Молодой ученый. — 2014. — № 8. — с. 219–221.
16. Бибко, Д. А. Применение инновационных энергосберегающих технологий / Д. А. Бибко, А. И. Решетняк, А. А. Нестеренко. — Германия: Palmarium Academic Publishing, 2014. — 237 с.
17. Nesterenko, A. A. The impact of starter cultures on functional and technological properties of model minced meat / A. A. Nesterenko // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. — 2014. — № 4 (7–8). — pp. 77–80.
18. Nesterenko, A. A. Activation of starter cultures induced by electromagnetic treatment [Text] / A. A. Nesterenko, A. I. Reshetnyak // European Online Journal of Natural and Social Sciences. — 2012. — Vol.1, № 3. — P. 45–48.
19. Timoshenko, N. V. Significance of electromagnetic treatment in production technology of cold smoked sausage / N. V. Timoshenko, A. A. Nesterenko, A. I. Reshetnyak // European Online Journal of Natural and Social Sciences 2013. — vo2, No.2, C 248–252.
20. Нестеренко, А. А. Функционально-технологические показатели сырья после внесения стартовых культур [Текст] / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Молодой ученый. — 2014. — № 8. — с. 223–226.
21. Нестеренко, А. А. Применение стартовых культур в технологии производства ветчины / А. А. Нестеренко, Ю. А. Зайцева // Вестник Казанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 1 (31) — с. 65–68.
22. Нестеренко, А. А. Применение стартовых культур в технологии сырокопченых колбас [Текст] / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Молодой ученый. — 2014. — № 8. — с. 216–219.
23. Акопян, К. В. Формирование аромата и вкуса сырокопченых колбас [Текст] / К. В. Акопян, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2014. — № 7. — с. 93–95.
24. Нестеренко, А. А. Биологическая ценность и безопасность сырокопченых колбас с предварительной обработкой электромагнитным полем низких частот стартовых культур и мясного сырья / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 05 (099). — с. 772–785. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/52.pdf>.
25. Нестеренко, А. А. Электромагнитная обработка мясного сырья в технологии производства сырокопченой колбасы // Наука Кубани. 2013. — № 1. — с. 41–44.
26. Нестеренко, А. А., Пономаренко, А. В. Использование электромагнитной обработки в технологии производства сырокопченых колбас // Вестник НГИЭИ. — 2013. — № 6 (25). — с. 74–83.
27. Нестеренко, А. А. Изучение действия электромагнитного поля низких частот на мясное сырье [Текст] / А. А. Нестеренко, К. В. Акопян // Молодой ученый. — 2014. — № 4. — с. 224–227.
28. Нестеренко, А. А. Влияние активированных электромагнитным полем низких частот стартовых культур на мясное сырье / А. А. Нестеренко, Е. Г. Горина // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — № 05 (099). — с. 786–802. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/53.pdf>.
29. Нестеренко, А. А. Влияние электромагнитного поля на развитие стартовых культур в технологии производства сырокопченых колбас [Текст] / А. А. Нестеренко // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. — Мичуринск, 2013. — № 2 — с. 75–80.

## **Численное исследование влияния межвенцового зазора на переменные силы в осевой ступени турбины**

Нгуен Куок Куан, аспирант;

Ласкин Александр Степанович, доктор технических наук, профессор  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

**В** настоящее время наблюдается повышенный интерес к исследованию влияния осевых зазоров в турбинных ступенях, в частности, на величины нестационарных нагрузок. Обычно предполагается, что увеличение осевых

зазоров полезно как точки зрения уменьшения нестационарных нагрузок, так и КПД ступени [1–7]. Но уже в работах [1, 2] было указано на немонотонное изменение нагрузок и КПД ступени при изменении осевого зазора.

Первоначальные работы в 60-х по влиянию осевого зазора на переменные аэродинамические силы были выполнены экспериментально в МЭИ [5] и ЛПИ [1–4]. Для исследования нестационарного течения в ступени турбомашине в ЛПИ были созданы экспериментальные турбины, опытами на одной из которых (обращенная радиальная турбина ЭТН-ЛПИ [1, 4]) были оценены уровни нестационарных нагрузок, которые могли приводить к усталостным поломкам рабочих лопаток.

Ozaki S. и др. (2013) [7] исследовали влияние осевого зазора на пульсации давления на 1,5 ступени турбины. Авторы заключили, что локальный минимум амплитуды возбуждающей силы находится в области маленького зазора из-за большой интерференции направляющего аппарата и рабочего колеса. Эффект потенциальной интерференции был найден в фазе вблизи входной кромки рабочей лопатки. Возбуждающая сила интенсивно изменена в осевом зазоре потому, что маленький зазор сильно влияет на амплитуду пульсации давления на поверхности лопатки. Влияние осевого зазора на нестационарное давление было сильнее, чем при изменении различных других условиях эксперимента.

В настоящее время в связи с развитием вычисленной гидродинамики и в частности с появлением коммерческих пакетов типа ANSYS CFX появилась возможность исследования процессов нестационарных течений в турбомашине. В работе представлены результаты численного моделирования влияния изменения межвенцовых осевых зазоров на величину переменных аэродинамических сил (ПАС), вызывающих колебания рабочих

лопаток. Результаты численного исследования были сопоставлены с экспериментальными данными, полученными при исследовании обращенной радиальной модели в СПбПУ [4].

### 1. Постановка задачи и методы расчета

Расчетные модели представлены на рис. 1 с различными осевыми зазорами  $\Delta z_1 = 4 \div 35$  мм. Основные геометрические размеры представлены в табл. 1.

Основной метод исследования — численное моделирование нестационарных процессов обтекания в турбомашине, представленное в пакете ANSYS CFX. Предварительные расчеты изменения нестационарных сил во времени выполняются методом Frozen Rotor. Для расчетов нестационарных режимов используется метод Transient Rotor-Stator. Численное моделирование при использовании коммерческого гидродинамического пакета Ansys CFX 14.5 с применением кластера в СПбПУ. Схема расчетной модели течений представлена на рис.2.

Значение относительного размаха аэродинамической силы определяется по соотношению:

$$\frac{\Delta P_u}{P_u} = \frac{P_{u\max} - P_{u\min}}{P_u} \quad (1)$$

где  $P_u$  — проекции тангенциальной нестационарной аэродинамической силы на направление  $u$ ;  $\overline{P_u}$  — осредненная по времени нестационарная аэродинамическая сила;  $P_{u\max}$  и  $P_{u\min}$  — максимальные и минимальные значения.

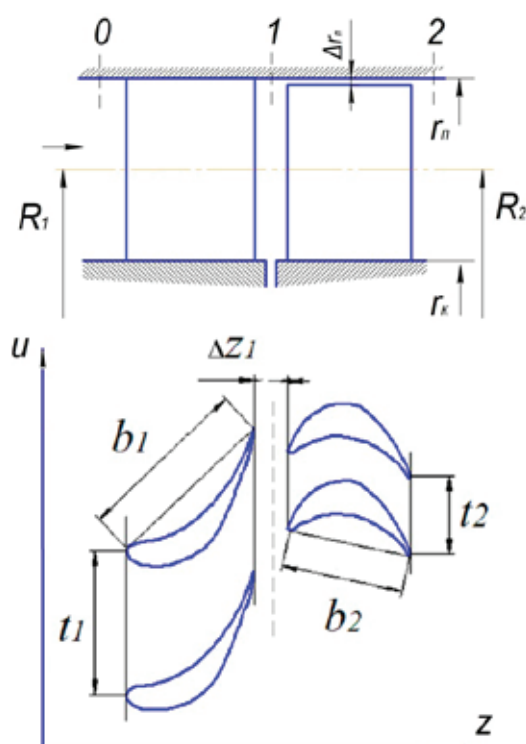


Рис. 1. Схема геометрической модели ступени осевой турбин: 1 — лопатки статора; 2 — лопатки ротора

Таблица 1. Геометрические параметры осевой турбины

Радиус среднего сечения, $R_{1cp} = R_{2cp}$ мм	390,12
Длина направляющей и рабочей лопатки, $l_1 = l_2$ мм	60
Хорда, $b_1$ мм	59
Шаг, $t_1$ мм	47,9
Относительный шаг, $\bar{t}_1$	0,8
Число сопловых лопаток, $m_1$	51
Хорда, $b_2$ мм	41
Шаг, $t_2$ мм	25,4
Относительный шаг $\bar{t}_2$	0,618
Число рабочих лопаток, $m_2$	96
Осевой зазор ступени, $\Delta z_1$ мм	4÷35

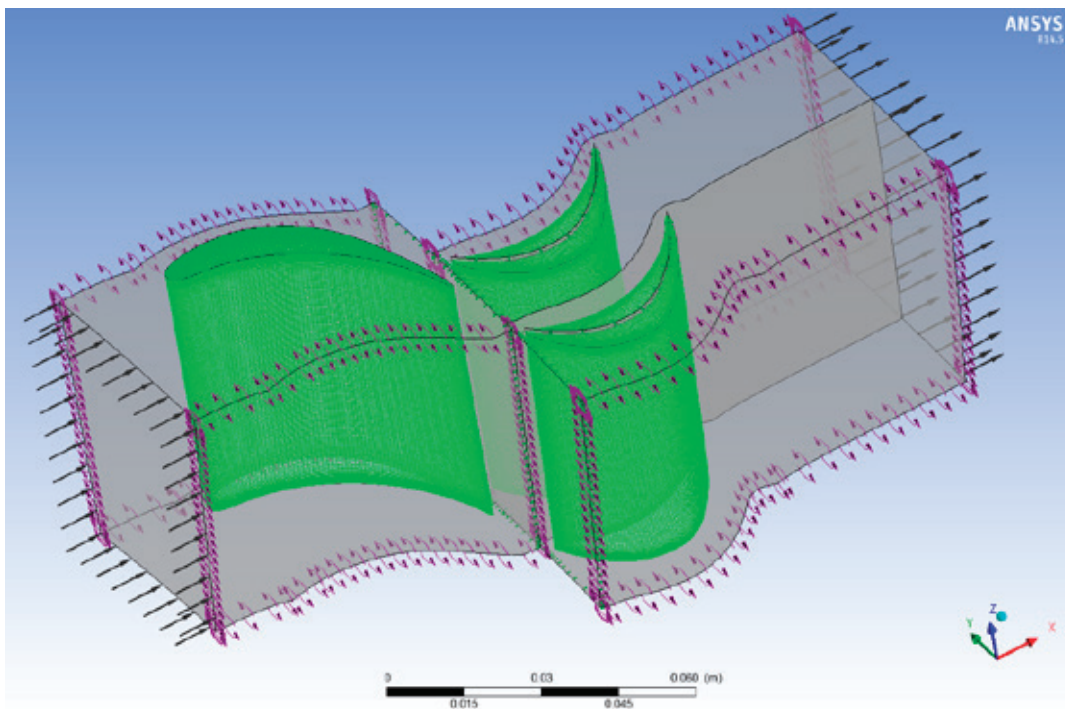


Рис. 2. Расчетная модель ступени осевой турбины

**2. Результаты численного исследования**

Нестационарные силы  $P_u(\tau)$ , действующие на рабочую лопатку (при осевом зазоре  $\Delta z_1 = 4$  мм), получены из численных расчетов и представлены на рис. 3.

Результат расчетов показан, что изменение размаха аэродинамических сил находится в пределах 10÷30% от осредненных по периоду значений, что соответствует экспериментальным данным [1]. Этот уровень нестационарных нагрузок может быть опасным при околорезонансных режимах и низких уровнях демпфирования.

В работе [3] показано в том, что в качестве безразмерной характеристики осевого зазора целесообразно использовать величину  $\Delta z_1 = \Delta z_1 / t_{1cp} \cdot \text{tg} \alpha_{1cp}$ , где  $\Delta z_1$  — осевой зазор,  $t_{1cp}$  — шаг решетки,  $\alpha_{1cp}$  — угол выхода потока из направляющей лопатки на среднем сечении. Величина  $\Delta z_1$  характеризует условия суперпозиции по-

тенциальной и вязкой неравномерностей потока за направляющим аппаратом. Введем понятие относительной аэродинамической силы в зависимости от  $\Delta z_1$  по формуле:

$$\delta P_u(\Delta z_1) = \frac{\frac{\Delta P_u}{P_u}(\Delta z_1)}{\max(\frac{\Delta P_u}{P_u}(\Delta z_1))} \tag{2}$$

Зависимость относительной аэродинамической силы от безразмерной координаты  $\Delta z_1$  представлена на рис. 2а. Сравнение результата с экспериментом представлено на рис.2б.

**Заключение**

Основные результаты выполненных численных моделирований следующие:

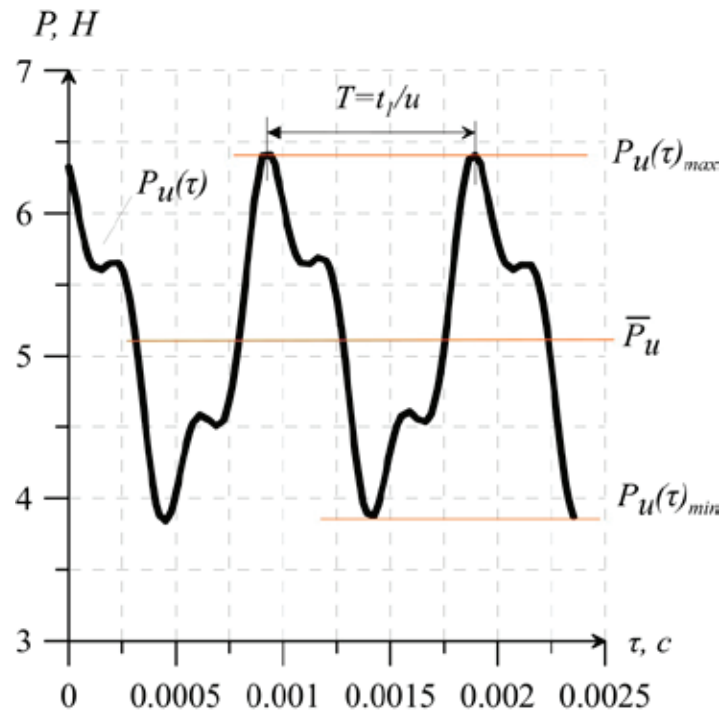


Рис. 3. Нестационарная сила, действующая на рабочую лопатку при осевом зазоре 4 мм

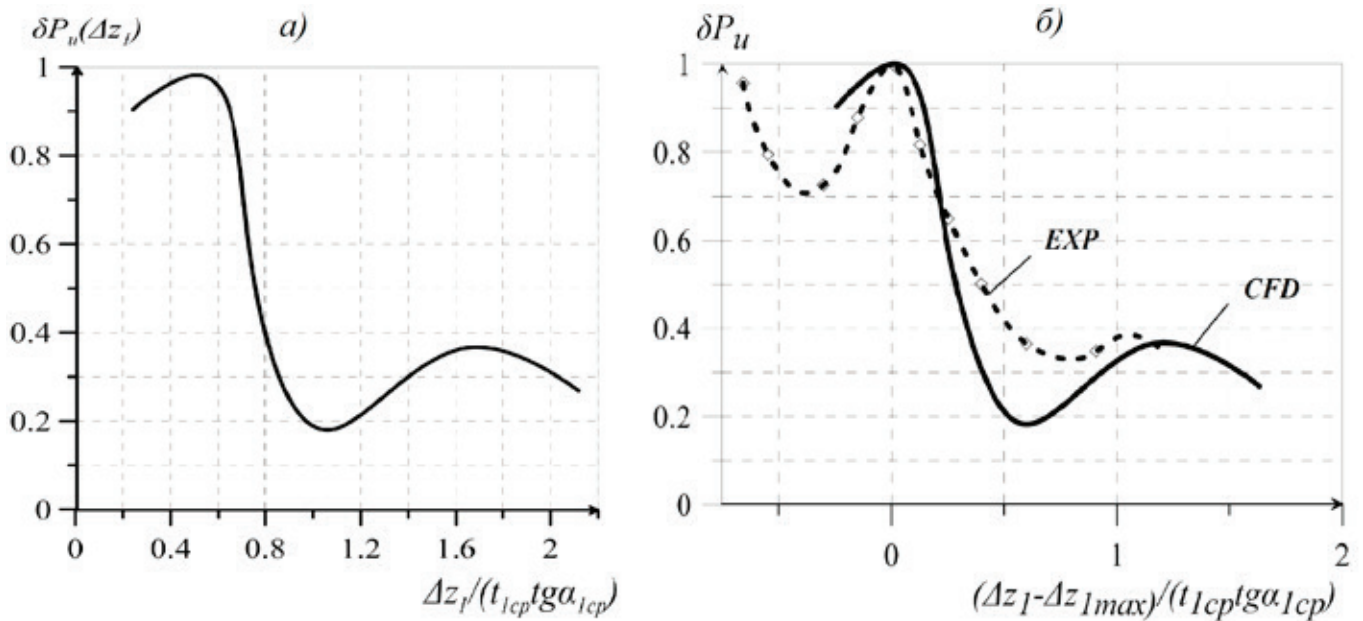


Рис. 4. Зависимость относительной аэродинамической силы: а) от безразмерной координаты  $\Delta z_1 / (t_{1cp} \text{tg} \alpha_{1cp})$ ; б) от  $(\Delta z_1 - \Delta z_{1max}) / (t_{1cp} \text{tg} \alpha_{1cp})$  при сравнении эксперимента (EXP — [3]) и численного моделирования (CFD)

1) Уровень размахов ПАС в диапазоне относительных зазоров  $\overline{\Delta z_1} = 0,2 \div 2,2$  находится в пределах в диапазоне от  $\Delta P_u = 10\%$  до  $\Delta P_u = 30\%$ ;

2) Общая тенденция изменения ПАС при увеличении зазоров характеризуется уменьшением нестационарных сил, но это изменение не монотонно. Имеется два максимума ПАС в области  $\overline{\Delta z_1} = 0,6$  и  $1,6$ ;

3) Область зазоров  $\overline{\Delta z_1} = 0,9 \div 1,4$ , в котором возбуждение минимально, может быть рекомендована для практического использования при проектировании турбинных ступеней близкой конфигурации;

4) Результаты численного моделирования согласуются с экспериментом при сопоставлении относительного максимального осевого зазора (рис. 2б).

Литература:

1. Ласкин, А. С., Кириллов И. И. Исследование переменных аэродинамических сил в турбинной решетке, обтекаемой нестационарным потоком // Энергомашиностроение., № 12, 1966 — с. 17–19.
2. Ласкин, А. С. Выбор оптимального осевого зазора, обеспечивающего минимум аэродинамического возбуждения колебаний рабочих лопаток газовой турбины //, № 2, 1987.
3. Ласкин, А. С. Метод определения оптимального осевого зазора в турбинной ступени // Проб. машиностроения, 1980. — с. 73–77.
4. Афанасьева, Н. Н., Ласкин А. С., Лапшин К. Л., Черников В. А. и др. Аэродинамические характеристики ступеней тепловых турбин, под ред. Черников В. А. — Ленинград: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1980. — 263 с.
5. Самойлович, Г. С. Возбуждение колебаний лопаток турбомашин, Москва, 1975.
6. Funazaki, K., Yamada K., Kikuchi M., Sato H. Detailed Studies on Aerodynamic Performance and Unsteady Flow Behaviors of a Single Turbine Stage with Variable Rotor-Stator Axial Gap // International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems (Japan), № 2 (1), 2008. — pp. 30–37.
7. Yutaka Yamashita, Kiyoshi Segawa, Shuichi Ozaki. Experimental and numerical investigations of the influences of axial gap between blade rows on pressure fluctuation // ISUAAAT 13 — S9–4., Tokyo, Japan, 2013.

## Изъятие пресной воды из подземных грунтовых вод при помощи гелиоустановки водонасосного опреснителя

Очилов Лазиз Ибодович, ассистент

Бухарский филиал Ташкентского института ирригации и мелиорации (Узбекистан)

Абдуллаев Жалил Маликович, старший преподаватель

Навоийский государственный педагогический институт (Узбекистан)

В каждой развивающейся стране сельское хозяйство имеет огромное значение. По статистическим данным, через 20–25 лет в сельском хозяйстве Узбекистана появится дефицит (нехватка) воды. В этот период количество населения нашей страны достигнет 40 млн.

Будет необходимо обеспечить население жильем, продовольствием, продуктами сельского хозяйства, питьевой водой и другими нуждами, в этом случае энергии будет расходоваться в 2–3 раза больше нынешнего. Для недопущения дефицита энергии, поиск других источников энергии, то есть нетрадиционных (восстанавливаемых) источников и использование их в жизни человечества обращается в глобальную проблему сегодняшнего дня. Кроме энергии, обеспечение населения питьевой водой также обращается в глобальную проблему.

Во многих областях нашей республики имеются подземные грунтовые воды, которые сильно минерализованы. Самым удобным методом обращения грунтовых вод в питьевую воду является использование водонасосной гелиоустановки. Водонасосный опреснитель образуется из следующих частей: одноступенчатый солнечный водный опреснитель, под ним карьер выкопанный до глубины подземных грунтовых вод и капиллярно-полые материалы (смесь ганча и золы).

Принцип работы гелиоустановки водонасосного опреснителя: в солнечный день солнечная радиация падает на прозрачную оболочку установки, одна часть от-

ходит от неё, а другая часть войдя во внутрь опреснителя греет капиллярно-полый материал (фитиль), вода находящаяся в составе фитиля испаряясь, образует водопарную смесь во внутренней части воздушного пространства опреснителя. Водопарная смесь конвекционируется не только внутри опреснителя, но и в воздушном пространстве около стен трубы вместе с фитилем. Днём, внутри установки опреснителя, водопарная смесь получая тепловую энергию взятую от Солнца, направляет её на стены трубы и на полный объём фитиля. В результате стены трубы и материал фитиля выполняют функцию аккумулятора теплоты для установки.

Вечером, за счёт аккумулированной энергии, фитили и вода, находящаяся в составе кирпичей стен трубы, испаряясь и воздействуя с лицевой дна прозрачной оболочки конденсируется и стекая со сточной трубы в форме дистиллированной воды, попадает в специальную ёмкость, находящуюся снаружи установки. Причина конденсации паров воды: из-за большой разницы температуры внешней лицевой прозрачной оболочки солнечного водного опреснителя и температуры водопарной смеси внутри опреснителя, вечером пары воды конденсируются с огромной скоростью.

Названия всех звеньев установки приведены на 1-рисунке.

Результаты взятые из установок и их анализ: Начиная с июня месяца 2013 года были проведены в одинаковых

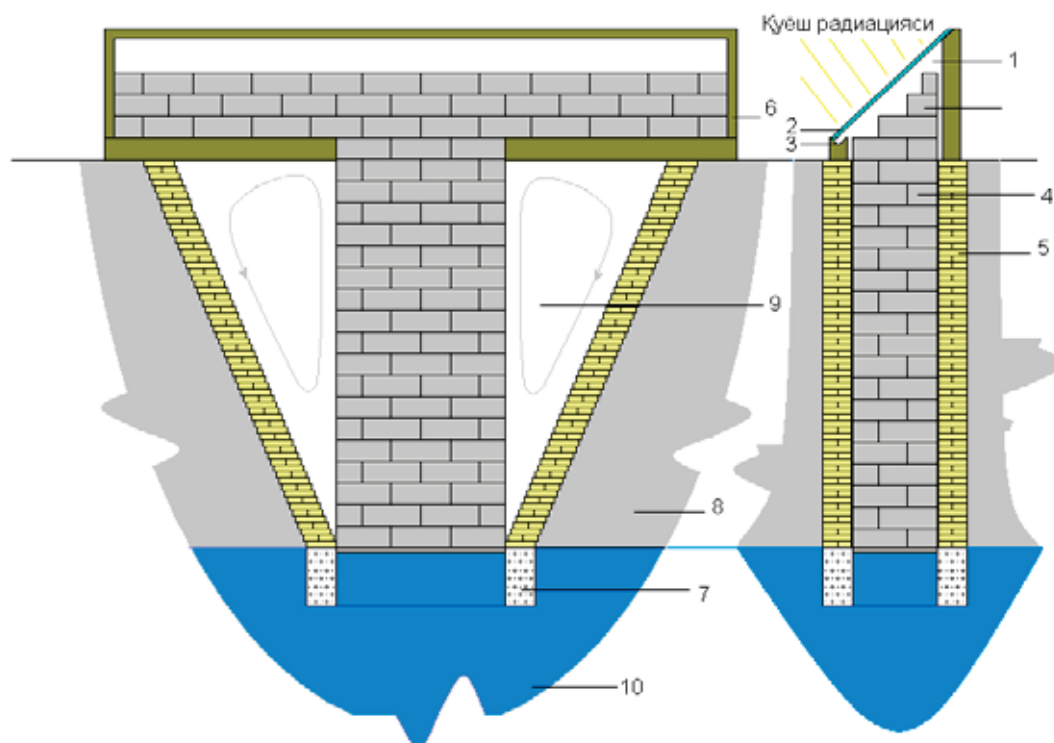


Рис. 1. Схематический вид гелиоустановки водонасосного опреснителя: 1 — Солнечный (водный) опреснитель (воды); 2 — прозрачная оболочка; 3 — нога; 4 — фитиль из капиллярно-полого материала; 5 — кирпичная стена водопровода; 6 — стены солнечного (водный) опреснитель (воды); 7 — бетонное основание в глубине водопровода; 8 — песок-почва; 9 — смесь воздушно-водных паров; 10 — минерализованная смесь в трубах



условиях испытания над лабораторной моделью «Гелиоустановка солнечного водонасосного опреснителя» и лабораторной моделью «Одноступенчатый солнечный водный опреснитель». Эти результаты вместе с результатами 21 дня июня месяца были сравнены друг с другом. Результаты взятые из установок изображены на рисунке в графическом виде.

Из полученных результатов, согласно приведенным в графике кривым, можно сделать вывод: показатель производительности дистиллированной воды «Одноступенчатый солнечный водный опреснитель» а в 1,5 раза больше по отношению к «солнечной водонасосной гелиоустановке».

Важность проблемы в том, что капиллярно-полые параллелипипиды (фитили) (2), установленные во 2-части

«солнечной водонасосной установки», посредством капиллярных сил минерализованной воды в специальной

ёмкости, из-за разницы давлений и температур, поднимаются на капиллярно-полых пластинках длиной в 120 см.

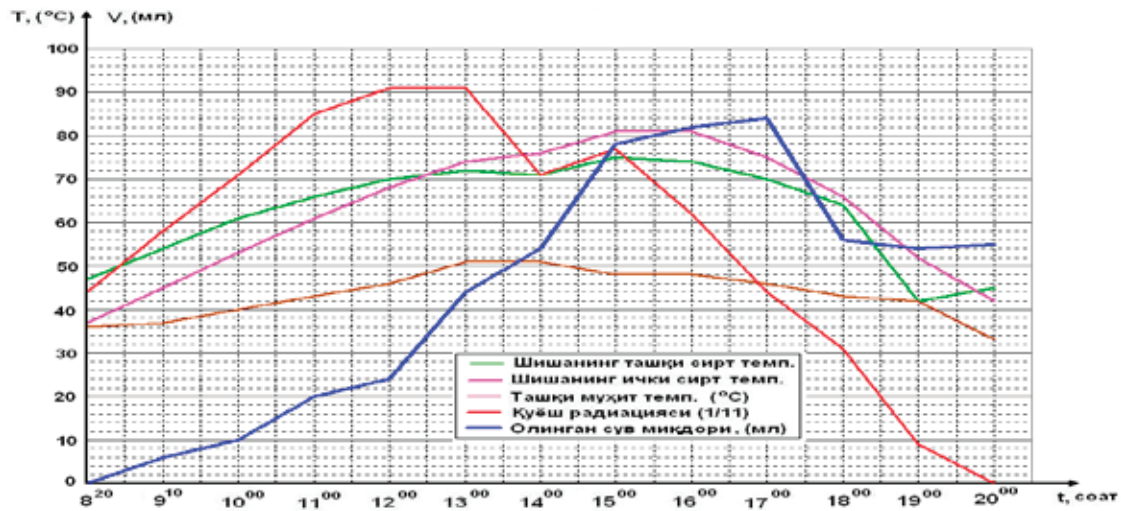


Рис.4. Кривые параметров результатов взятых из лабораторной установки «Солнечной водонасосной-опреснитель гелиоустановки» 21-числа июня-месяца

(4) Вода абсорбируется в горизонтально расположенном капиллярно-полых материале. Этот процесс, приведенный в графике на 4-рисунок отражается в кривых дистиллированной воды. Анализируя эти кривые можно сделать следующие выводы:

- суточный показатель производительности дистиллированной воды «Одноступенчатый солнечный водный опреснитель», на лицевую оболочки, размером 3.0 кв. м, которого падает солнечная радиация на 10–15% больше по отношению «Гелиоустановка солнечного водонасосного опреснителя» с тем же размером, который мы предлагаем;
- основная причина этого в том, что в опреснитель установке минерализованная вода напрямую выливается вглубь установки, а солнечная радиация прямо попадает в оболочку его минерализованной воды и если одна часть энергии расходуется на испарение, ещё одна часть расходуясь на нагревание задней стенки опреснителя, непосредственно образует процесс связки;
- а в предлагаемой «гелиоустановке водонасосного опреснителя» солнечная радиация попадая на горизон-

тально расположенный (8) капиллярно-полый материал, нагревает его оболочку и испаряет находящуюся в составе его капилляров воду;

- если глядеть на расчёт суточной периодичности работы двух установок, предлагаемая нами установка аккумулирует за счёт дневных фитилей солнечную энергию и с 20:00 ночи до 8:00 утра за счёт аккумулированной энергии производит в 1,7 раз больше дистиллированной воды в отличие от её дневной производительности. Научное значение научно-исследовательской разработки состоит из того, что капиллярно-полые фитили, выполняющие функции водного насоса и составленные из местных материалов, впервые используются в качестве труб нагревания в тепловых машинах с низким потенциалом. Физика теплоты, механические свойства и свойства генерации и регенерации таких фитилей были исследованы и обнаружено то, что они не отстают от имевшихся до нас керамических и других строительных материалов, а в большинстве свойств и превосходящих их.

Литература:

1. Лутпуллаев, С. И., Захидов Р. А. и др. Возобновляемые источники энергии: проблемы и перспективы.
2. Очилов, Б. М., Шадыев О. Х., Жураев Т. Д. Солнечные опреснители и холодильники. Ташкент: Фан. 1976. с. 15.
3. Байрамов, Р. Сайткурбанов. опреснение воды с помощью солнечной энергии. Ашхабад. «Ылим», 1977й.
4. БоломерДж.В., Коллинс Р. А., Эйбилинг Д. А. Полевые испытания солнечных опреснителей морской воды. В.кн.: Опреснение соленых вод. М., 1963.



## Выбор характерных высушиваемых пастообразных материалов

Пахомова Юлия Владимировна, кандидат технических наук, доцент;  
Кривопалова Дарья Александровна, студент;  
Кочетов Вячеслав Владимирович, студент;  
Мамедова Мадина Айдыновна, студент  
Тамбовский государственный технический университет

*В статье представлены свойства выбранных жидких дисперсных материалов растительного и животного происхождения, формирующих при сушке характерные для пастообразных материалов кинетические кривые.*

**Ключевые слова:** сушка, паста, дисперсная система, кинетика.

Многие продукты химической, пищевой и других отраслей промышленности перерабатываются в диспергированном, растворенном или смешанном состоянии в жидкости: в воде, в органическом растворителе или разбавителе. Они могут быть исходными продуктами для дальнейшего производства, промежуточными, конечными или являться отходами производства, требующими утилизации или переработки [1, с. 635].

Для получения сухих или концентрированных продуктов применяется процесс сушки. При этом чаще всего сушка дисперсий производится на поверхности разного рода вспомогательных носителей (в дальнейшем называемых подложками) или совмещается с нанесением слоя на специально обрабатываемую поверхность [2, с. 340].

В различных отраслях промышленности широко распространены процессы нанесения определенного вида дисперсного состава на различного рода подложки (диффузионно-непроницаемые и проницаемые) с последующей сушкой или термообработкой. Так, например, нанесение клеевых, латексных, лакокрасочных, эмалевых и прочих покрытий на различного рода подложки (диффузионно-непроницаемые и проницаемые) с последующей сушкой и тепловой обработкой широко применяется [3, с. 293; 4, с. 58]:

- в технике лакокрасочных, полимерных, эмалевых и др. покрытий;
- в технике склеивания;
- в текстильной и легкой промышленности (производство плащевых, обувных и прочих тканей с покрытиями, искусственной кожи и меха, различного рода пластырей, клеенок и т.п.);
- в производстве разнообразных профилированных полимерных материалов и слоистых пластиков;
- в производстве различных электроизоляционных материалов;
- в производстве кино-фото материалов;
- в производстве фанеры, ДСП;
- и т.д.

При этом для каждого типа производства существуют свои, часто весьма специфические требования к качеству готового продукта, определяющие проведение процесса сушки.

Продукция сельского хозяйства, являющаяся сырьем для пищевой промышленности, как правило, содержит значительное количество воды. Продукты же пищевых производств, с целью их лучшего сохранения и увеличения транспортабельности, должны содержать минимальное количество влаги. При этом важным фактором является сохранение или придание высушиваемому продукту определенных свойств. Эти требования определяют специфику процесса сушки применительно к пищевой промышленности [5, с. 15].

Сушка в пищевой промышленности используется для переработки:

- молока на сухое молоко; белковых дисперсии яиц на яичный порошок;
- сахарных и иных пищевых растворов и дисперсии на сахар песок, дрожжи, крахмал;
- хлеба на сухари; макаронное тесто, мармелад, пастилу на макароны, мармелад, пастилу;
- зерно для лучшего хранения и повышения всхожести;
- фрукты, овощи на сухие фрукты, овощи;
- отходы яблочного и свеклосахарного производства — жом на корм скоту;
- мясо на сухое мясо; отходы мясного производства на мясо-костную муку;
- и т.д.

В основном целью сушки в пищевой промышленности является обеспечение длительного хранения, эффективной транспортировки или переработка исходного продукта в готовый или на корм скоту.

При этом технологию сушки пищевых продуктов определяет их исходное состояние, термолабильность и требования к готовому продукту.

Определенные классы пищевых продуктов технологически сушат непосредственно на диффузионно-непроницаемых подложках, используемых в качестве носителей, в различного типа аппаратах — например, сушка хлеба, мармелада, пастилы, макаронных изделий в ленточных, камерных, полочных сушилках [7, с. 94].

Некоторые жидкие продукты (молоко, сахарные растворы, растворы удобрений и т.п.) сушат в распылительных сушилках, сушилках с инертом или грануляторах.

В данном случае в качестве подложки выступает либо частица инерта, на которой происходит сушка дисперсии, либо сам высушенный продукт, ставший затравкой для дальнейшего роста на нем гранулы [6, с.20].

Для исследования кинетики сушки жидких дисперсных продуктов, формирующих характерные кинетические кривые, нами были выбраны следующие пастообразные дисперсные продукты растительного и животного происхождения: мясо-костная жидкость, кукурузная жидкость, желатин, крахмал.

Мясо-костная жидкость представляет собой жидкость коричневого до черного цвета со специфическим запахом. Жидкость получается как отход мясного производства и включает в себя несъедобные отходы и конфискаты от убой скота. Содержание твердой фазы в жидкости составляет 8–12% (масс.). Исходная жидкость содержит 29.8–30.9% (?) жиров, 27.8% белков, 85 мг/кг пероксидов жиров. В процессе сушки мясо-костной жидкости получается мука или гель (зависит от применяемого типа сушки) с высоким содержанием протеинов (40–60%). Конечная влажность муки 1–3%.

Тяжелая кукурузная жидкость-паста (“Heavy corn steep water”) представляет собой вязкую светло-коричневую пасту с несильным, но резким запахом. Продукт перерабатывающих предприятий получается при переработке кукурузы и содержит около 50% масс. твердого вещества. Из них: 50–55% протеинов, 22–20% молочных кислот, 4–12% редуцированных сахаров (декстроза, мальтоза). Плотность 1200–1400 кг/м<sup>3</sup>. Легко растворима в воде. Главным при переработке является сохранение белков и сахаров; имеется опасность “пригорания” сахаров.

Желатин (коллаген) — фибриллярный белок, составляющий основу соединительной ткани животных (кожи, связок, сухожилий, костей, хрящей и др.) и является наиболее распространенным белком животного мира.

По происхождению и составу желатин был выбран первоначально как аналог, более “чисто” моделирующий мясо-костную жидкость.

В действительности, механизм и кинетика сушки коллоидов желатина оказались принципиально отличными от мясо-костной жидкости.

Однако в целом, это представило для анализа даже больший интерес, чем если бы желатин оказался полным кинетическим аналогом мясо-костной жидкости.

Свойства желатина изучались всесторонне, однако для использования в наших целях они нуждаются в дополнениях и коррективах. Разброс свойств у разных сортов и даже партий весьма велик и практически не меньше, чем у мясо-костной жидкости.

Крахмал — главный резервный полисахарид растений, накапливается в клетках семян, зерен, луковиц, клубней. Не растворим в холодной воде. В промышленности получают главным образом из картофеля и кукурузы.

По происхождению и составу крахмал был выбран первоначально как аналог, более “чисто” моделирующий кукурузную жидкость-пасту.

В действительности ситуация оказалась такой же, как для желатина и мясо-костной жидкости.

Однако от этого полученные данные по механизму и кинетике процессов сушки и термообработки оказались только более общими и ценными для анализа.

Использовались также истинные высоко- и низкомолекулярные дисперсии:

– водный раствор пищевого свекловичного сахара, 50% масс.

– насыщенный водный раствор пищевой поваренной соли, 26% масс.

Их свойства также изучались всесторонне, однако при реальных расчетах также возникают некоторые вопросы, требующие решения или проверки.

#### Литература:

1. Пахомов, А.Н. Возможности самоорганизации дисперсных систем при сушке на подложке / А.Н. Пахомов, Ю.В. Пахомова, Е.А. Ильин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. — 2012. — Т. 18, № 3, — С.633–637.
2. Пахомов, А.Н. Расчет кинетики сушки капли жидкости на подложке / А.Н. Пахомов, Б.Ш. Д. Аль Саиди, Е.А. Ильин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. — 2013. — Т. 19, № 2, — с. 339–345.
3. Пахомов, А.Н. Алгоритм расчета кинетики испарения капли с диффузионно-непроницаемой подложки / А.Н. Пахомов, Е.А. Ильин // «Вопросы современной науки и практики». — Университет им. В.И. Вернадского, № 2 (45), 2013 г. — с. 292–296.
4. Пахомов, А.Н. Анализ свойств жидкой послеспиртовой барды / А.Н. Пахомов, Р.Ю. Банин, И.Г. Елисева, Е.А. Черных // Наука в центральной России. — 2013. — № 2. — с. 57–61.
5. Пахомов, А.Н. Возможности повышения энергоэффективности утилизации жидкой послеспиртовой барды // А.Н. Пахомов, Е.А. Ильин, А.В. Баландина, Л.А. Козлова, Е.А. Хатунцева // Научно-производственный периодический журнал, спецвыпуск по итогам международной конференции «Достижения европейской науки» «Наука в центральной России». — 2012. — С.15–17.
6. Пахомов, А.Н. Применение цифрового микроскопа для оценки дисперсного состава жидкой послеспиртовой барды / А.Н. Пахомов, А.В. Баландина, Л.А. Козлова // Потенциал современной науки. — 2014. — № 6, — С.19–22.

7. Пахомов, А.Н. Экспериментальная установка для изучения кинетики формирования отложений на стенках теплообменных аппаратов/А.Н. Пахомов, Р.Ю. Банин, Е.А. Черных, Е.Ю. Ловягина//Новый университет. — 2014. — № 03–04 (25–26), — С.93–95.

## Разработка и определение параметров экспериментального стенда силового гидроимпульсного механизма

Пашков Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент;  
Зиякаев Григорий Ракитович, кандидат технических наук;  
Кузнецов Игорь Васильевич, ассистент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

*Представлена физическая модель гидроимпульсных механизмов бурильных машин с одним и двумя колебательными контурами. Получены дифференциальные уравнения, описывающие механические и гидравлические процессы, протекающие в механизме за весь цикл его работы. На основании полученных результатов разработана схема экспериментального стенда гидроимпульсного механизма и рассмотрен вопрос определения его параметров.*

**Ключевые слова:** гидроимпульсный механизм, резонанс, собственная частота, экспериментальный стенд.

В настоящее время при разработке месторождений полезных ископаемых, в строительстве, для бурения шпуров и скважин в горных породах, для разрушения каменных и бетонных блоков, твердых покрытий, забивки свай и труб широкое применение находят буровые машины ударно-вращательного действия. Перспективным направлением развития таких машин является их создание на основе безбойкового гидроимпульсного механизма.

В работах [1–4] была представлена принципиальная схема силового гидроимпульсного механизма для интенсификации бурения скважин малого диаметра (рис. 1).

Импульсы давления жидкости формируются следующим образом. При работе гидропульсатора, плунжер совершает возвратно-поступательное движение, при этом создаются импульсы давления жидкости, которые передаются в гидроцилиндр. Так как гидроцилиндр поджат упругой силой, происходит его раскачка вместе с инерционной массой  $m$ . При этом происходит периодическое преобразование кинетической энергии массы  $m$  в потенциальную энергию деформированной системы жидкости и рукава — повышению давления в системе и обратно. При режиме работы системы близкого к резонансному, возникают импульсы давления значительной величины, которые через поршень и буровую штангу передаются на обрабатываемую среду.

Была получена система дифференциальных уравнений, описывающих процессы, происходящие при работе гидроимпульсного механизма:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k_{тр} \frac{dx_1}{dt} + c x_1 = F_{подж} - p S_{гц}, \\ J_p \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = M_{пр} - \chi \frac{d\varphi}{dt} - p S_{пл} \cos \varphi r, \\ S_{гц} \frac{dx_1}{dt} + S_{пл} r \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} = C_v \frac{dp}{dt}. \end{cases}$$

Здесь:  $m$  — масса, прикрепленная к корпусу гидроцилиндра;  $k_{тр}$  — коэффициент трения между поршнем и гидроцилиндром;  $c$  — жесткость пружины;  $p$  — давление в гидроцилиндре;  $F_{подж}$  — постоянное усилие поджима;  $S_{гц}$  — площадь поршня гидроцилиндра;  $S_{пл}$  — площадь плунжера;  $J_p$  — приведенный момент инерции вращающихся деталей ротора;  $M_{пр}$  — приводной момент двигателя;  $\chi$  — коэффициент демпфирования;  $r$  — радиус кривошипа;  $C_v$  — коэффициент упругости рукавов высокого давления.

Для проверки теоретических исследований на кафедре Теоретической и прикладной механики Томского политехнического университета, разрабатывается экспериментальный стенд гидроимпульсного механизма.

Схема механической части стенда представлена на рис. 2. Неподвижная рама 1, изготовлена из швеллеров и стальных листов. Подвижное основание 2, из листовой стали толщиной 20 мм, может свободно перемещаться относительно рамы в продольном направлении с помощью цилиндрических роликов 3. Гидроцилиндр 4 жестко соединен с подвижным основанием 2 с помощью стойки 5, которая крепится к основанию с помощью болтов. Гидроцилиндр поджат в раме с помощью пружины сжатия 6, которая фиксируется в установке с помощью стаканов 7. Активная масса установки может меняться с помощью грузиков 8. Силовые импульсы, создаваемые установкой, измеряются датчиком силы 9, размещенным между штоком гидроцилиндра и рамой. Перемещения подвижного основания относительно рамы измеряются акселерометром 10.

Гидравлическая часть стенда включает дозировочный плунжерный насос, регулируемый предохранительный клапан давления и трехпозиционный гидрораспределитель (рис. 3). Импульсы давления жидкости

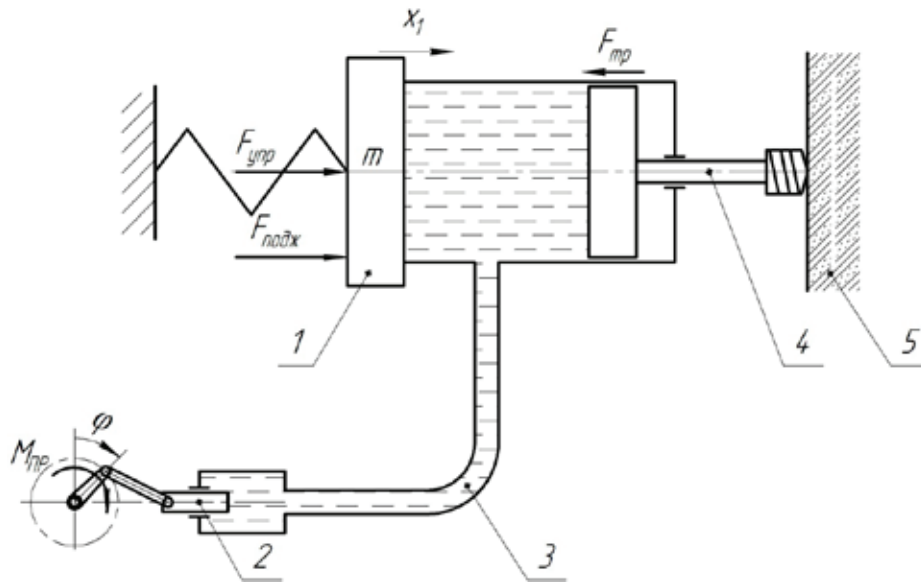


Рис. 1. Модель гидроимпульсного механизма: 1 — гидроцилиндр с активной массой; 2 — плунжер; 3 — рукав высокого давления (РВД); 4 — бурильный инструмент; 5 — разрушаемая порода

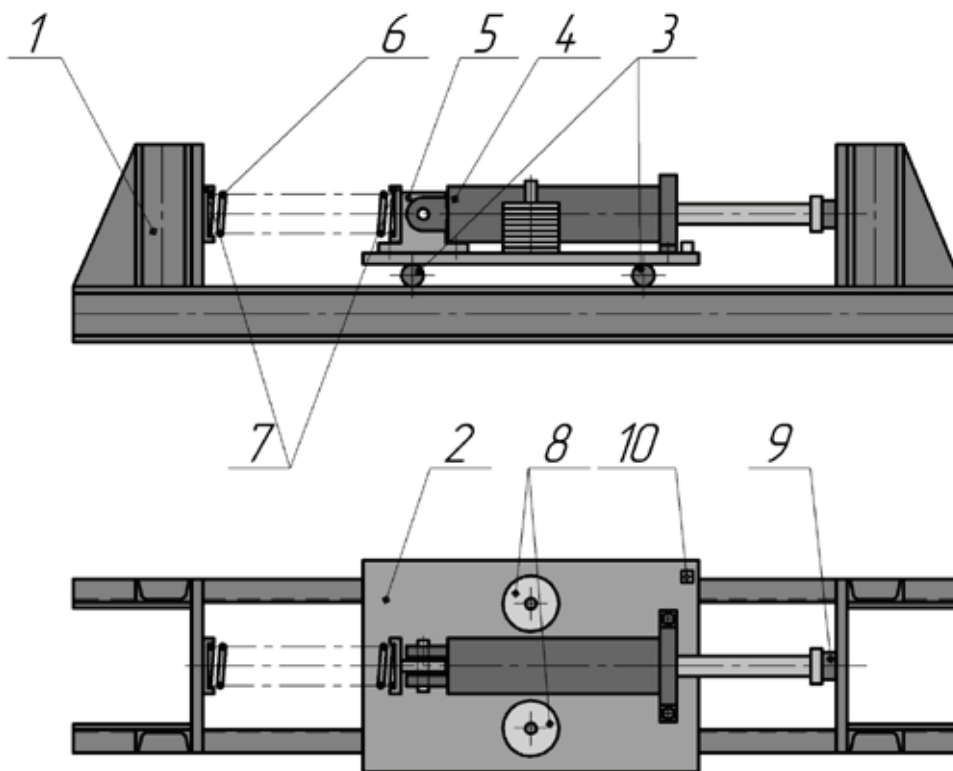


Рис. 2. Схема механической части экспериментального стенда: 1 — рама; 2 — подвижное основание; 3 — ролики; 4 — гидроцилиндр; 5 — стойка; 6 — пружина; 4 — стаканы; 8 — грузы; 9 — измеритель силы; 10 — акселерометр

создаются за счет неравномерности подачи плунжерного насоса, трехпозиционный распределитель служит для изменения направления потока жидкости. С помощью регулирования предохранительного клапана давления изменяется величина предварительного поджатия пружины.

Как было показано в [3], амплитуда импульсов давления будет максимальна в резонансном режиме, когда

$$\omega = k = \sqrt{\frac{c}{m} + \frac{S_{ГЦ}^2}{mC_V}}$$

Для определения величины активной массы, чтобы система находилась в резонансе, преобразуем:

$$m = \frac{1}{\omega^2} \left( c + \frac{S_{ГЦ}^2}{C_V} \right)$$

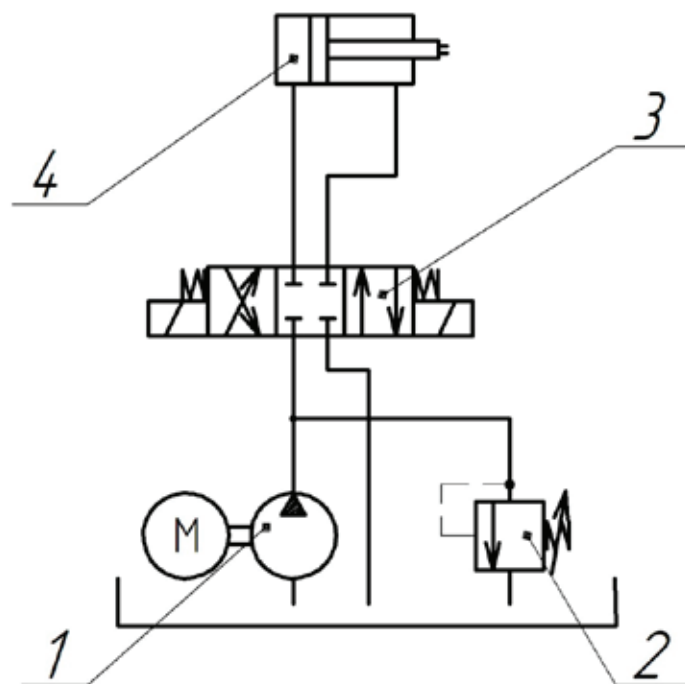


Рис. 3. Гидравлическая схема экспериментального стенда: 1 — насос; 2 — предохранительный клапан; 3 — гидрораспределитель; 4 — гидроцилиндр

Частота вращения приводного вала плунжерного насоса равна  $n = 2950 \text{ мин}^{-1}$ . Следовательно  $\omega = 308,7 \text{ с}^{-1}$ .

Диаметр поршня гидроцилиндра равен  $d = 100 \text{ мм}$ , следовательно его площадь будет  $S_{\text{гц}} = 0,00785 \text{ м}^2$ .

Жесткость пружины была измерена экспериментально и составила  $c = 40000 \text{ Н/м}$ .

Коэффициент упругости РВД также был найден экспериментально и оказался равен  $C_V = 3,1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3/\text{Па}$ .

Найдем требуемую активную массу:

$$m = \frac{1}{308,7^2} \left( 40000 + \frac{0,00785^2}{3,1 \cdot 10^{-12}} \right) = 209 \text{ кг.}$$

Доработка экспериментального стенда, экспериментальные исследования и их сравнение с аналитическими расчетами является предметом дальнейшего исследования.

**Выводы:**

Литература:

1. Пашков, Е. Н., Зиякаев Г. Р., Кузнецов И. В. Дифференциальные уравнения процессов гидроимпульсного силового механизма бурильных машин / Пашков Е. Н., Зиякаев Г. Р., Кузнецов И. В. // Приволжский научный вестник. — 2013. — № 4 (20). — с. 32–36.
2. Пашков, Е. Н., Саруев Л. А., Зиякаев Г. Р. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 5 — с. 26–31.
3. Pashkov, E. N., Ziyakaev G. R., Tsygankova M. V. Differential equations of processes for the hydropuls power mechanism of drill machines // Applied Mechanics and Materials. — 2013 — Vol. 379. — p. 91–94 [6765–2013].
4. Патент на ПМ 133152 РФ. МПК7 E 02D 7/10. Гидроимпульсная сваебойная машина / Е. Н. Пашков, Г. Р. Зиякаев, П. Г. Юровский, А. В. Пономарев. Опубл. 10.10.2013 г.

1. Была представлена методика расчетов параметров гидроимпульсного механизма исходя из условия его работы в резонансном режиме.

2. Изменяя величину активной массы и коэффициента объемной упругости РВД можно подобрать параметры гидроимпульсного механизма так, чтобы он работал в режиме близком к резонансному при заданной частоте силовых импульсов.

3. Жесткость поджимной пружины мало влияет на остальные параметры гидроимпульсного механизма, т.к.

$$c = \frac{S_{\text{гц}}^2}{C_V}$$

4. Наибольшее влияние на требуемую величину активной массы механизма оказывает коэффициент объемной упругости РВД.

## Анализ эффективности гидроимпульсного механизма бурильных машин

Пашков Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент;  
 Зиякаев Григорий Ракинович, кандидат технических наук;  
 Новосельцева Мария Викторовна, аспирант  
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет

*Представлена физическая модель гидроимпульсных механизмов бурильных машин с одним и двумя колебательными контурами. Получены дифференциальные уравнения, описывающие механические и гидравлические процессы, протекающие в механизме за весь цикл его работы. Представлено сравнение моделей гидроимпульсного механизма бурильных машин. Аналитическое решение, позволяет сделать вывод об эффективности применения таких механизмов.*

**Ключевые слова:** гидроимпульсный механизм, гидропульсатор, безбойковый механизм, вынужденные колебания, собственная частота, резонанс.

Прогрессивным направлением в развитии машин и механизмов ударного действия является создание силовых импульсных систем с гидравлическим приводом [1]. Исследования вращательного бурения режущим инструментом с наложением на него высокоэнергетических упругих колебаний показали возможность в 2–2,5 раза интенсифицировать процесс разрушения горных пород, в 1,5–2 раза повысить износостойкость режущего инструмента, на 2–3 категории крепости пород по шкале проф. М. М. Протодыяконова расширить область эффективного применения вращательного бурения скважин при повышении производительности труда на 40–70% [2].

В работах [3–9] рассмотрена оригинальная модель гидроимпульсного силового механизма бурильных машин, в которых силовые импульсы возникают за счет резонансных колебаний гидроцилиндра с реактивной массой. Возникает вопрос об эффективности данного оригинального механизма и сравнения его с упрощенным механизмом без колебательного контура, в котором силовые импульсы формируются только плунжерным гидропульсатором.

Рассмотрим модель гидроимпульсного силового механизма без колебательного контура (рис. 1). Импульсы давления жидкости формируются следующим образом. При работе гидропульсатора, плунжер совершает возвратно-поступательное движение, при этом создаются импульсы давления жидкости, которые через поршень и буровую штангу передаются на обрабатываемую среду.

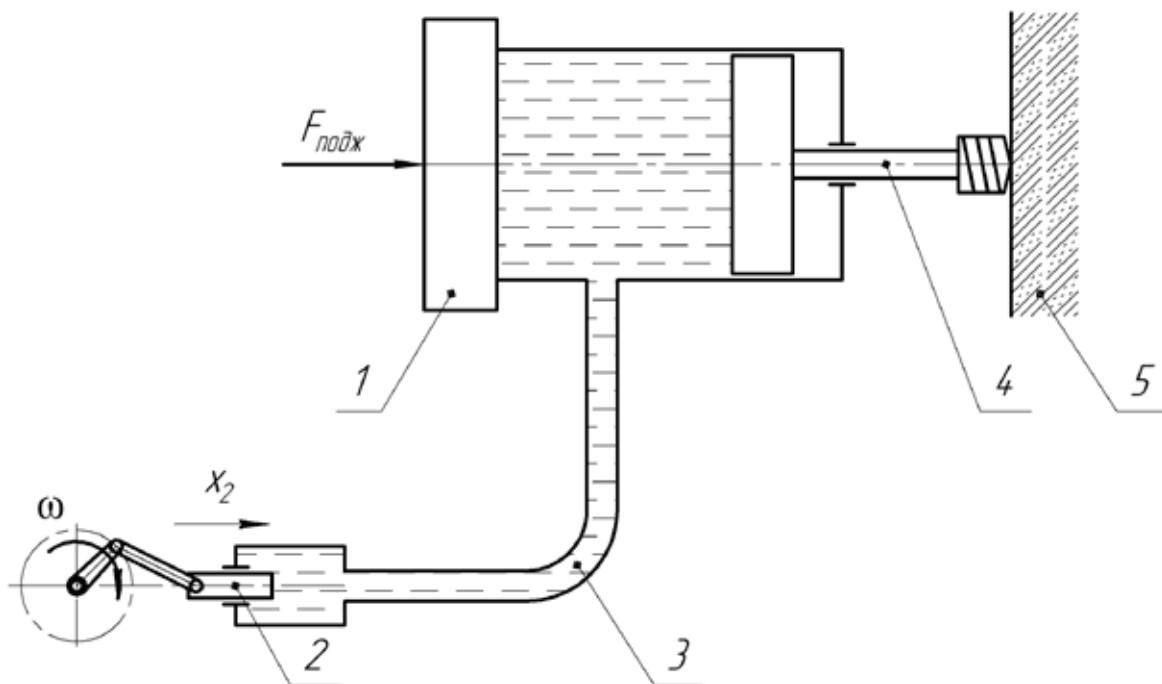


Рис. 1. Модель гидроимпульсного механизма без колебательного контура: 1 — гидроцилиндр; 2 — плунжер (пульсатор); 3 — рукав высокого давления (РВД); 4 — бурильный инструмент; 5 — разрушаемая порода

Вводим обобщенную координату:  $x_2$  — координата перемещения плунжера (рис. 1).

Уравнение расходов для системы будет:

$$S_{\text{ПЛ}} \frac{dx_2}{dt} = C_V \frac{dp}{dt},$$

здесь  $S_{\text{ПЛ}}$  — площадь плунжера,  $C_V$  — коэффициент упругости гидросистемы, определяющий расход на деформацию элементов гидросистемы и сжимаемость жидкости.

Преобразуем:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{S_{\text{ПЛ}}}{C_V} \frac{dx_2}{dt}$$

Проинтегрировав выражение, получаем

$$p = \frac{S_{\text{ПЛ}}}{C_V} x_2 + C_1, \tag{1}$$

где  $C_1$  — постоянная интегрирования.

Подставляем начальные условия  $x_2 = 0, p = \frac{F_{\text{ПОДЖ}}}{S_{\text{ГЦ}}}$  в (1), находим постоянную интегрирования

$$C_1 = \frac{F_{\text{ПОДЖ}}}{S_{\text{ГЦ}}}.$$

Плунжер движется по закону  $x_2 = r \sin(\omega t)$ , где  $r$  — радиус кривошипа привода плунжера. Подставляем закон движения плунжера и постоянную интегрирования в выражение (1), получаем уравнение колебаний давления в гидросистеме (усилия на бурильном инструменте):

$$p = \frac{S_{\text{ПЛ}}}{C_V} r \sin(\omega t) + \frac{F_{\text{ПОДЖ}}}{S_{\text{ГЦ}}}. \tag{2}$$

Из выражения можно найти амплитуду колебаний давления и максимальное значения давления в гидросистеме:

$$A = \frac{S_{\text{ПЛ}}}{C_V} r,$$

$$p_{\text{max}} = \frac{S_{\text{ПЛ}}}{C_V} r + \frac{F_{\text{ПОДЖ}}}{S_{\text{ГЦ}}}.$$

Рассмотрим модель гидроимпульсного силового механизма с двумя колебательными контуром и реактивной массой (рис. 2). Импульсы давления жидкости формируются следующим образом. При работе гидропульсатора, плунжер совершает возвратно-поступательное движение, при этом создаются импульсы давления жидкости, которые передаются в гидроцилиндр.

Так как гидроцилиндр поджат упругой силой, происходит его раскачка вместе с инерционной массой  $m$ . При этом происходит периодическое преобразование кинетической энергии массы  $m$  в потенциальную энергию деформированной системы жидкости и рукава — повышению давления в системе и обратно. При режиме работы системы близкого к резонансному, возникают импульсы давления значительной величины, которые через поршень и буровую штангу передаются на обрабатываемую среду.

Для вывода уравнений, описывающих данную систему, полагаем, что между двумя следующими друг за другом силовыми импульсами, гидроцилиндр неподвижен. Вводим следующие обобщенные координаты:  $x_1$  — координата перемещения корпуса гидроцилиндра;  $x_2$  — координата перемещения плунжера (рис. 2).

Учитывая принятые допущения, дифференциальное уравнение движения гидроцилиндра можно представить в виде:

$$m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k_{\text{ТР}} \frac{dx_1}{dt} + c x_1 = F_{\text{ПОДЖ}} - p S_{\text{ГЦ}}, \tag{3}$$

где  $m$  — масса, прикрепленная к корпусу гидроцилиндра;  $k_{\text{ТР}}$  — коэффициент трения между поршнем и гидроцилиндром;  $c$  — жесткость пружины;  $p$  — давление в гидроцилиндре;  $F_{\text{ПОДЖ}}$  — постоянное усилие поджима;  $S_{\text{ГЦ}}$  — площадь поршня гидроцилиндра.

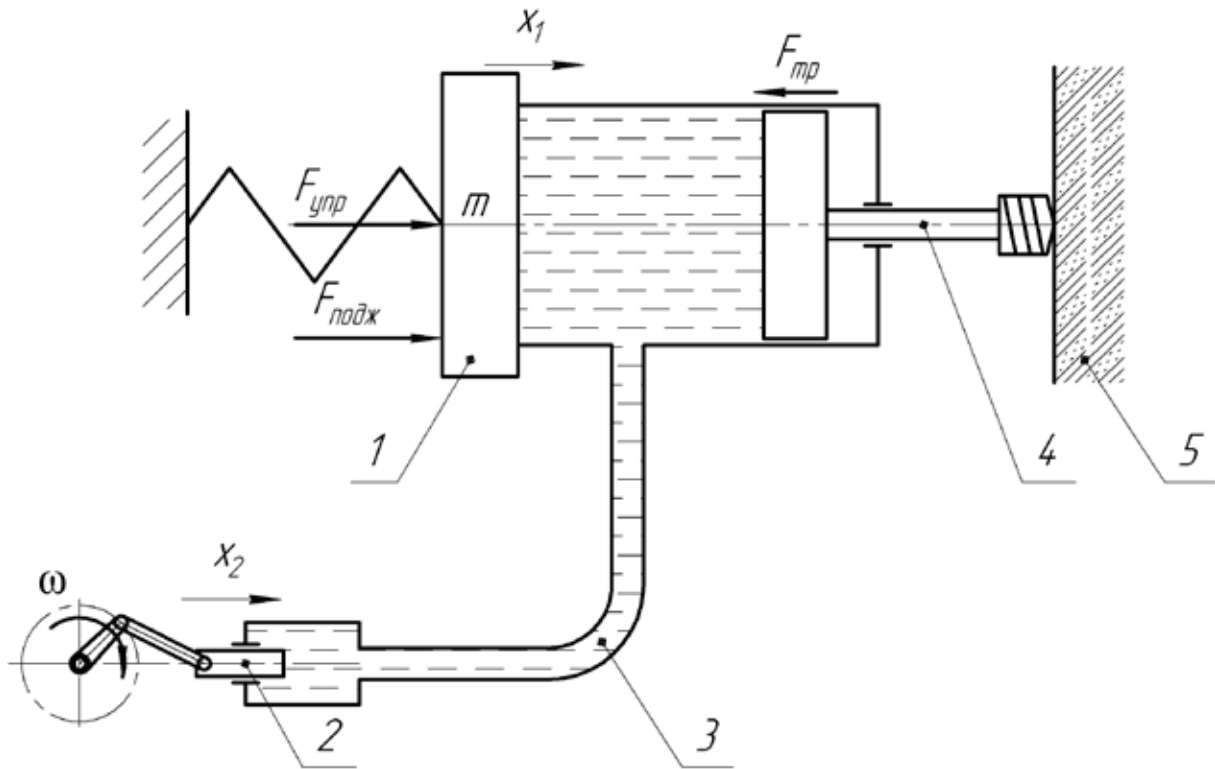


Рис. 2. Модель гидроимпульсного механизма: 1 — гидроцилиндр с активной массой; 2 — плунжер; 3 — рукав высокого давления (РВД); 4 — бурильный инструмент; 5 — разрушаемая порода

Уравнение расходов:

$$S_{ГЦ} \frac{dx_1}{dt} + S_{Пл} \frac{dx_2}{dt} = C_V \frac{dp}{dt}, \tag{4}$$

где  $C_V$  — коэффициент упругости гидросистемы, определяющий расход на деформацию элементов гидросистемы и сжимаемость жидкости.

выражение (4) получили

$$S_{ГЦ} x_1 + S_{Пл} x_2 = C_V p + C_1, \tag{5}$$

где  $C_1$  — постоянная интегрирования.

Подставляем начальные условия  $x_1 = 0, x_2 = 0, p = \frac{F_{ПОДЖ}}{S_{ГЦ}}$  в (5), находим постоянную интегрирования

$$C_1 = -C_V \frac{F_{ПОДЖ}}{S_{ГЦ}}.$$

Из выражения (5) находим

$$x_1 = \frac{C_V}{S_{ГЦ}} p - \frac{S_{Пл}}{S_{ГЦ}} x_2 - \frac{C_V F_{ПОДЖ}}{S_{ГЦ}^2}. \tag{6}$$

Подставляем закон движения плунжера в выражение (6) и дважды дифференцируем:

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{C_V}{S_{ГЦ}} \frac{dp}{dt} - \frac{S_{Пл} r \omega \cos(\omega t)}{S_{ГЦ}},$$

$$\frac{d^2 x_1}{dt^2} = \frac{C_V}{S_{ГЦ}} \frac{d^2 p}{dt^2} + \frac{S_{Пл} r \omega^2 \sin(\omega t)}{S_{ГЦ}}.$$

Подставляем в (3), получаем



$$\frac{mC_V}{S_{ГЦ}} \frac{d^2 p}{dt^2} + \frac{mS_{ПЛ}r\omega^2 \sin(\omega t)}{S_{ГЦ}} + \frac{k_{ТР} C_V}{S_{ГЦ}} \frac{dp}{dt} - \frac{k_{ТР} S_{ПЛ} r\omega \cos(\omega t)}{S_{ГЦ}} +$$

$$+ \frac{cC_V}{S_{ГЦ}} p - \frac{cS_{ПЛ}r \sin(\omega t)}{S_{ГЦ}} - \frac{cC_V F_{ПОДЖ}}{S_{ГЦ}^2} = F_{ПОДЖ} - p S_{ГЦ}.$$

Преобразуем выражение к виду

$$(mC_V) \frac{d^2 p}{dt^2} + (k_{ТР} C_V) \frac{dp}{dt} + (cC_V + S_{ГЦ}^2) p = \left( F_{ПОДЖ} S_{ГЦ} + \frac{cC_V F_{ПОДЖ}}{S_{ГЦ}} \right) +$$

$$+ (cS_{ПЛ}r - mS_{ПЛ}r\omega^2) \sin(\omega t) + (k_{ТР} S_{ПЛ} r\omega) \cos(\omega t). \tag{7}$$

Вводим обозначения

$$m_1 = mC_V, \quad \mu = k_{ТР} C_V, \quad C_p = cC_V + S_{ГЦ}^2, \quad d = F_{ПОДЖ} S_{ГЦ} + \frac{cC_V F_{ПОДЖ}}{S_{ГЦ}},$$

$$a = cS_{ПЛ}r - mS_{ПЛ}r\omega^2, \quad b = k_{ТР} S_{ПЛ} r\omega.$$

Тогда выражение (7) приобретает вид

$$m_1 \frac{d^2 p}{dt^2} + \mu \frac{dp}{dt} + C_p p = d + a \sin(\omega t) + b \cos(\omega t)$$

или

$$m_1 \frac{d^2 p}{dt^2} + \mu \frac{dp}{dt} + C_p p = d + A_B \sin(\omega t + \alpha), \tag{8}$$

$$\text{где } A_B = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad \text{tg}(\alpha) = b / a.$$

Делим (8) на  $m_1$  и получаем дифференциальное уравнение вынужденных колебаний с вязким сопротивлением [1].

Обозначим:

$$2h = \mu / m_1, \quad k^2 = C_p / m_1, \quad d_1 = d / m_1, \quad H_0 = A_B / m_1.$$

После подстановки в (6) получаем

$$\frac{d^2 p}{dt^2} + 2h \frac{dp}{dt} + k^2 p = d_1 + H_0 \sin(\omega t + \alpha). \tag{9}$$

Решением уравнения (9) будет:

$$p = \frac{d_1}{k^2} + A \sin(\omega t + \gamma),$$

где

$$A = \frac{H_0}{\sqrt{(k^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega^2}},$$

$$\text{tg}(\alpha - \gamma) = \frac{2h\omega}{k^2 - \omega^2}.$$

Или

$$A = \frac{\sqrt{(cS_{ПЛ}r - mS_{ПЛ}r\omega^2)^2 + (k_{ТР} S_{ПЛ} r\omega)^2}}{mC_V \sqrt{\left( \left( \frac{cC_V + S_{ГЦ}^2}{mC_V} \right)^2 - \omega^2 \right)^2 + \left( \frac{k_{ТР}}{m} \right)^2 \omega^2}}.$$

Из полученного решения можно найти требуемую частоту приводного двигателя плунжера, при которой система находится в резонансе, и амплитуда скачка давления максимальна:

$$\omega = k = \sqrt{\frac{c}{m} + \frac{S_{ГЦ}^2}{mC_V}}$$

Максимальная амплитуда при этом будет:

$$A_{\max} = \frac{S_{ПЛ} \sqrt{(cr - mr\omega^2)^2 + (k_{ТР}r\omega)^2}}{C_V k_{ТР} \omega}$$

После преобразований получим:

$$A_{\max} = \frac{S_{ПЛ} r \sqrt{mS_{ГЦ}^4 + k_{ТР}^2 C_V^2 c + k_{ТР}^2 C_V S_{ГЦ}^2}}{C_V^{3/2} k_{ТР} \sqrt{c C_V + S_{ГЦ}^2}}$$

Параметры системы были равны:

$$F_{ПОДЖ} = 100 \text{ Н}; r = 0,05 \text{ м}; c = 100000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}; m = 50 \text{ кг}; k_{ТР} = 0,2; S_{ГЦ} = 0,00785 \text{ м}^2;$$

$$S_{ПЛ} = 0,000314 \text{ м}^2; C_V = 10^{-7} \frac{\text{м}^3}{\text{Па}}$$

На рис. 3 представлено сравнение импульсов давления создаваемых гидроимпульсными механизмами с одним и двумя колебательными контурами при одних и тех же значениях параметров системы. Из рисунка видно значительное преимущество гидроимпульсного механизма с двумя колебательными контурами, т.к. амплитуда импульсов создаваемого им давления в резонансном режиме многократно больше, чем у гидроимпульсного механизма одним колебательным контуром.

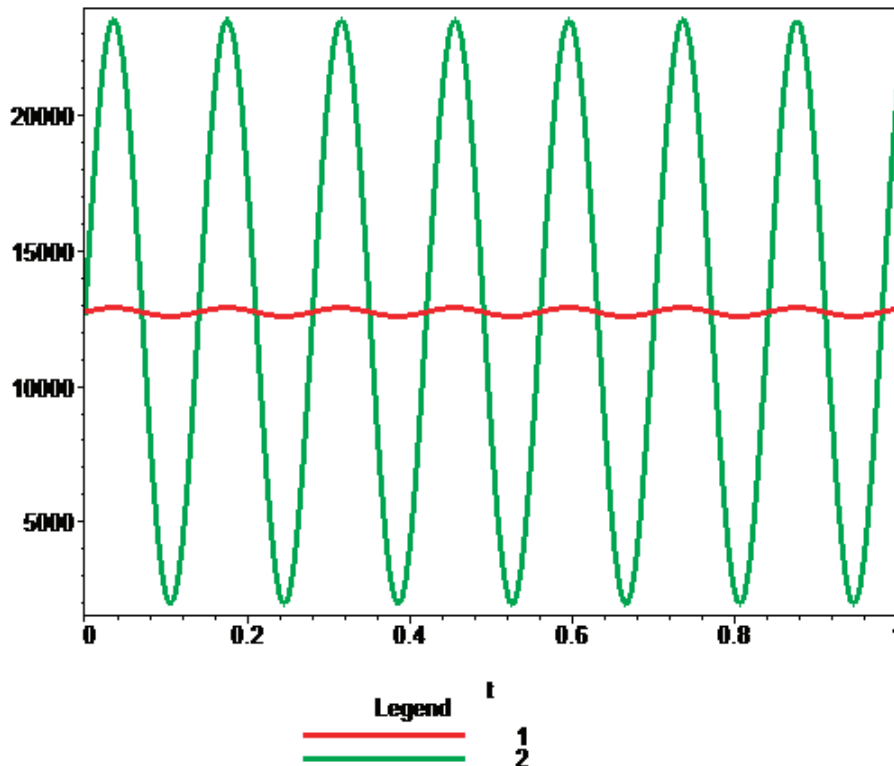


Рис. 3. Импульсы давления на поршне в резонансном режиме: 1 — гидроимпульсный механизм с одним колебательным контуром; 2 — гидроимпульсный механизм с двумя колебательными контурами

**Выводы:**

По результатам математических исследований можно сделать вывод о том, что при одних и тех же исходных данных, колебания давления на поршне, а соответственно и силы на ударном инструменте выше в случае гидроимпульсного механизма с колеблющейся массой. Так же считая амплитуду давления одноконтурного механизма базовой можно оценить эффективность гидроимпульсного механизма.

## Литература:

1. Бутенин, Н. В., Лунц Я. Л., Меркин Д. Р. Курс теоретической механики: Учебник. В 2-х томах. Т. II.: Динамика. — 2-е изд. Перераб. и доп. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. — 544 стр.
2. Липин, А. А., Танайно А. С., Тимонин В. В. Современные погружные машины для бурения скважи. Горная техника: Каталог-справочник. — СПб.: ООО «Славутич», 2006. — с. 116–123.
3. Патент на ПМ 79924 РФ. МПК7 E 21B 6/02, B25D 16/00. Гидроимпульсная сваебойная машина / Пашков Е. Н., Зиякаев Г. Р., Юровский П. Г., Пономарев А. В. Оpubл. 10.10.2013 г.
4. Патент на ПМ 71369 РФ. МПК7 E 21B 6/02, B25D 16/00. Станок для бурения скважин в подземных условиях / А. В. Шадрина, А. А. Казанцев, А. Л. Саруев, Л. А. Саруев. Оpubл. 10.03.2008 г.
5. Шадрина, А. В., Саруев Л. А., Саруев А. Л. Динамические процессы в колонне труб при вращательно-ударном бурении скважин малого диаметра из подземных горных выработок // Томск. Изд-во Томского политехнического университета. 2009. — 175 с.
6. Пашков, Е. Н., Саруев Л. А., Зиякаев Г. Р. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 5 — с. 26–31.
7. Пашков, Е. Н., Зиякаев Г. Р., Кузнецов И. В. Дифференциальные уравнения процессов гидроимпульсного силового механизма бурильных машин / Пашков Е. Н., Зиякаев Г. Р., Кузнецов И. В. // Приволжский научный вестник. — 2013. — № 4 (20). — с. 32–36.
8. Пашков, Е. Н., Зиякаев Г. Р., Юровский П. Г. Одноконтурный гидроимпульсный механизм бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2013. — № 12. Отдельные статьи (специальный выпуск). Актуальные проблемы машиностроения. — с. 95–99.

## Исследование устойчивости породного массива очистных камер россыпных месторождений Индигирки с использованием рейтинговой классификации Д. Лобшира

Петрова Любовь Владимировна, старший преподаватель;  
Николаева Александра Афанасьевна, заведующий лабораторией;  
Марков Валерий Степанович, кандидат технических наук, доцент  
Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (г. Якутск)

Обеспечение устойчивости подземных горных выработок в течение заданного срока их эксплуатации является одной из важнейших задач, возникающих при добыче полезных ископаемых и строительстве подземных сооружений различного назначения [5, с. 69]. Месторождения Восточной Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока России имеют ряд особенностей: наличие криолитозоны различной мощности и температурного режима, сложное геологическое строение и тектоническую нарушенность, многообразие условий по устойчивости руд и вмещающих пород. Все это существенно влияет на устойчивость подрабатываемых породных массивов, напряженное состояние целиков и обнажений выемочных камер, т. е. в принятии технологических решений по разработке месторождений.

На сегодняшний день в мировой практике наиболее многофункциональными и практичными являются рейтинговые классификации Д. Лобшира (MRMR — Mining Rock Mass Rating) и З. Бенявского (RMR — Rock Mass Rating), которые решают ряд таких вопросов, как составление проекта крепления, составление диаграмм зон обрушения, определение допустимых размеров обнажений трещиноватых руд и пород, оценка устойчивости целиков и других конструктивных элементов систем подземной разработки рудных месторождений и шахт [3, с. 94].

На практике данная методика расчета рейтинга устойчивости была применена на руднике «Мир». В ходе работы нами были произведены расчеты рейтинговой классификации Д. Лобшира на рудном месторождении «Айхал» и рос-

сыпном месторождении «Солур» и установлены допустимые пролеты обнажения камер для оптимального выбора системы разработки.

В применении методики расчета рейтинга устойчивости на россыпных месторождениях надо учитывать ряд особенностей в геологическом строении россыпей, а также в наличии параметров, учитывающих условия криолитозоны. Необходимо провести расчет по нескольким россыпным месторождениям для сравнения результатов расчетов рейтинга устойчивости для условий россыпных месторождений криолитозоны и дальнейшего анализа с целью выхода на конкретные показатели, влияющие на степень устойчивости пород.

Геология и строение россыпей месторождений Индигирки [4, с. 11; 6, с. 15; 7, с. 12].

Мощность аллювиальных отложений колеблется в пределах 25–40 м и составляет в среднем 30 м. Гранулометрический состав рыхлых отложений представлен в основном галькой осадочных пород, реже грубыми обломками и валунностью.

Разрез рыхлых четвертичных отложений по одному из месторождений представляется следующим образом (рис. 1, рис.2):

1. Почвенный слой 0,3 м;
2. Ледниковые флювиогляциальные отложения со щебнем и слабоокатанной галькой песчаников и глинистых сланцев, цементированных песчано-глинистым заполнителем 20–25 м;
3. Аллювий, представленный слабоокатанной галькой и щебнем песчаников, цементированных илом и песком серого цвета 10,5 м.

Толща рыхлых отложений характеризуется льдистостью, которая фиксируется на протяжении всей россыпи.

Продуктивный золотоносный пласт приурочен к контакту аллювия с коренными породами и включает отложения галечников, аллювиальный щебень и трещиноватую часть коренных пород. Последние представлены в основном глинистыми и песчано-глинистыми сланцами, менее — песчаниками: Максимальная концентрация золота приурочена к элювиальному щебню и трещиноватой части коренных пород. Мощность продуктивного пласта песков не более 2 м. Валунность характерна для всей толщи мерзлых пород, но как правило, не превышает 20%. В среднем по месторождению пласт песков состоит на 26% из аллювиальных галечников и на 74% из элювия и трещиноватых коренных пород. Гранулометрический состав золотоносных аллювиальных отложений представлен следующим образом;

- содержание валунов и крупных булыжников (фракция более 100–150 мм) в песках незначительное и составляет в целом по месторождению 8,5%;
- наиболее распространены гравийно-галечный материал и элювиальный щебень размером 5–150 мм — 64,2%, в том числе по фракциям: 100–20 мм — 33,5%, 20–5 мм — 30,7%;
- средний процент фракций менее 5 мм — 25,3%.

Коэффициент крепости золотоносных мерзлых рыхлых отложений — от 8 до 12, что соответствует VI — VIII категориям классификации по М. М. Протождяконову. Содержание свободной двуокиси кремния в породах продуктивного пласта, по данным ЦНИИПП, колеблется от 30 до 60%.

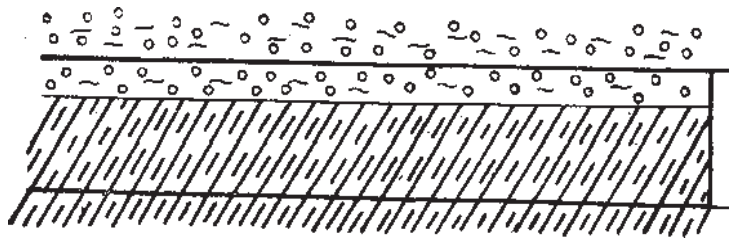


Рис. 1. Литологический разрез четвертичных отложений по одному из месторождений Индигирки

Расчет рейтинга устойчивости  $MRMR$  [2, с.694; 8, с.257; 9, с.475, 1, с.42]

Для условий перекрывающих пород. Средний предел прочности на сжатие перекрывающих пород в пределах 4 МПа, модуль трещиноватости  $1-0,65 \text{ м}^{-1}$ , среднее расстояние между трещинами — 1–1,5 м.

С учетом трещиноватости, получаем составляющую рейтинга  $RBS_p$ :

$$RBS_p = IRS \cdot 0,8 \cdot k$$

где  $IRS$  — прочность нетронутого массива, МПа;  $k$  — коэффициент корректировки  $IRS$ . Данный коэффициент определяется по шкале, представленной в номограмме корректировки прочности нетронутого массива с учетом крепости руды и густоты трещин, исходя из значения «инверсия крепости  $X \text{ FF/m}$ ».

Основной заполнитель трещин — лед. Наличие цементированных наполненных трещин, крепость заполнителя по шкале Мооса — 1. Следовательно, инверсия — 1.

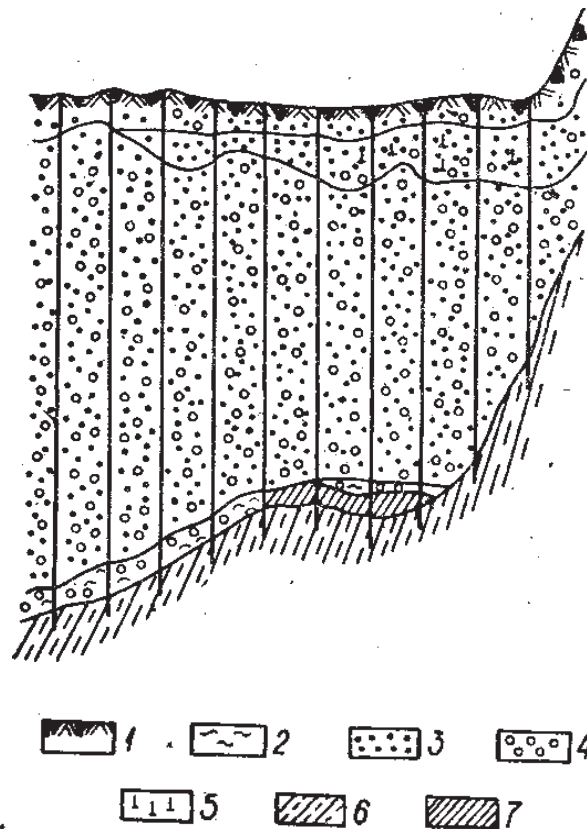


Рис.2. Литологический состав продуктивного пласта: 1 — растительный слой; 2 — ил, глина; 3 — песок; 4 — галечник; 5 — лед; 6 — песчано-глинистые сланцы; 7 — промышленная россыпь

По номограмме корректировки прочности имеем  $k=0,85$ .

В итоге получаем прочность породного блока:

$$RBS_p = 4 \cdot 0,8 \cdot 0,78 = 2,5$$

По графику определения рейтинга  $R_{RBS}$  прочности породного блока рейтинговый показатель  $R_{RBS}=1,5$ . По графику рейтинга трещиноватости массива  $J_S$  определяем рейтинг по количеству трещин  $J_S=29$ .

Трещины однонаправленные ( $A=95\%$ ), ступенчатые шероховатые/нерегулярные ( $B=95\%$ ), наличие цементированных наполненных трещин, крепость наполнителя по шкале Мооса=1, ( $E=75\%$ ) (данные таблицы поправки за состояние трещин).

Вычисляем рейтинг условий трещиноватости:

$$J_C = 40 \cdot \frac{A}{100} \cdot \frac{B}{100} \cdot \frac{C}{100} \cdot \frac{D}{100} \cdot \frac{E}{100} = 40 \cdot \frac{95}{100} \cdot \frac{95}{100} \cdot \frac{75}{100} = 27,08$$

$$\text{Получаем рейтинг } RMR_K = R_{RBS} + J_S + J_C = 1,5 + 29 + 27,08 = 57,58$$

$$RMR_K = R_{RBS} + J_S + J_C = 1,5 + 29 + 27,08 = 57,58$$

Так как породы многолетнемерзлые, водоприток отсутствует.

На территории района развиты многолетнемерзлые породы, температура  $-6^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент смерзаемости пород берется от 1 до 1,2 ( $k_1=1,1$ ).

Коэффициент выветривания  $k_2=1$ .

Получаем рейтинг массива горных пород:

$$MRMR_K = RMR_K \cdot k_1 \cdot k_2 = 57,58 \cdot 1,1 \cdot 1 = 63,34$$

Для условий пород продуктивного пласта. По подобию перекрывающим породам рассчитываем показатели для продуктивного пласта (условия идентичны):

$$\text{Прочность породного блока } RBS_p = 4 \cdot 0,8 \cdot 0,78 = 2,5$$

Рейтинг прочности породного блока  $R_{RBS}=1,5$ .

Рейтинг по количеству трещин  $J_S=29$ .

Рейтинг условий трещиноватости:

$$J_C = 40 \cdot \frac{A}{100} \cdot \frac{B}{100} \cdot \frac{C}{100} \cdot \frac{D}{100} \cdot \frac{E}{100} = 40 \cdot \frac{95}{100} \cdot \frac{95}{100} \cdot \frac{75}{100} = 27,08$$

Рейтинг  $RMR_K = R_{RBS} + J_S + J_C = 1,5 + 29 + 27,08 = 57,58$ .

Рейтинг массива горных пород с учетом коэффициентов

$$MRMR_K = RMR_K \cdot k_1 \cdot k_2 = 57,58 \cdot 1,1 \cdot 1 = 63,34$$

Для условий подстилающих пород. Средний предел прочности пород (глинистые сланцы) в пределах 45 МПа, модуль трещиноватости — 10–2 тр/м, среднее расстояние между трещинами — 0,1–0,5 м. Крепость по шкале Мооса — 1. Следовательно, инверсия — 1. Получаем значение «инверсия крепости X FF/м» = 1x6=6

По номограмме корректировки прочности имеем коэффициент корректировки  $k=0,73$ .

В итоге прочность породного блока:

$$RBS_p = IRS \cdot 0,8 \cdot k = 45 \cdot 0,8 \cdot 0,73 = 26,28$$

По графику определения рейтинга  $R_{RBS}$  прочности породного блока рейтинговый показатель  $R_{RBS}=12$ . По графику рейтинга трещиноватости массива  $J_S$  рейтинг по количеству трещин  $J_S=16$ .

Трещины разнонаправленные волнообразные (A=100 %), с гладкими выступами (B=80 %), стенки трещин деформированы (D=75 %), крепость наполнителя трещин 1, (E=75 %).

Получаем рейтинг условий трещиноватости:

$$J_C = 40 \cdot \frac{A}{100} \cdot \frac{B}{100} \cdot \frac{C}{100} \cdot \frac{D}{100} \cdot \frac{E}{100} = 40 \cdot \frac{100}{100} \cdot \frac{80}{100} \cdot \frac{75}{100} \cdot \frac{75}{100} = 18$$

Так же как и для предыдущих условий  $k_1=0,84$  и  $k_2=1,1$ .

$$RMR_K = R_{RBS} + J_S + J_C = 11 + 16 + 18 = 45$$

Рейтинг массива горных пород с учетом коэффициентов

$$MRMR_K = RMR_K \cdot k_1 \cdot k_2 = 45 \cdot 1,1 \cdot 0,84 = 41,58$$

Результаты расчетов рейтинга MRMR для условий продуктивного пласта и вмещающих пород месторождений Индигирки сводятся в таблицу (табл. 1).

Таблица 1. Итоговая таблица расчетов рейтинга MRMR

Показатель	Вмещающие породы		Продуктивный пласт
	Перекрывающие	Подстилающие	
Рейтинг MRMR	63,34	41,58	63,34
Класс пород по Д. Лобширу	2	3	2
Описание пород по устойчивости (обрушаемости)	Устойчивая (труднообрушаемые)	Средняя (средняя)	Устойчивая (труднообрушаемые)

### Заключение

Результаты расчетов рейтинга породного массива по геомеханической классификации Д. Лобшира для условий месторождений Индигирки показали следующее:

– Породы кровли относятся ко 2 и 3 классу устойчивости (трудной обрушаемости), что соответствует 2 и 3 классу устойчивости по классификации ВНИИ-1 [6, с. 72] (средне-устойчивые и устойчивые).

– Возможно применение камерной и столбовой системы разработки. При камерной системе разработки допустимые пролеты камер от 20 до 30 м., при столбовой системе — допустимая площадь обнажения кровли в рабочей зоне от 6–8 тыс. м<sup>2</sup>.

Полученные результаты подлежат корректировке на опытных блоках шахты.

Литература:

1. Грабчак, Л. Г., Багдасаров Ш. Б., Иляхин С. В. и др. Горноразведочные работы: учеб. — М.: Высшая школа, 2003. 661 с.
2. Губинский, Н. О. Определение рейтинга массива горных пород по геомеханической классификации Д. Лобшира для условий алмазного месторождения // Вестник МГТУ, том 12, № 4. 2009 г. с.694–701.
3. Кузьмин, Е. В., Узбеков А. Р. «Рейтинговые классификации массивов горных пород: предпосылки создания, развитие и область применения» // ГИАБ № 3, 20030. с.94–96.
4. Марков, В. С., Лабутин В. Н., Елшин В. К. Безвзрывная разработка многолетнемерзлых россыпных месторождений подземным способом. Новосибирск: Изд. — во СО РАН, 2014 г. 176 с.

5. Хлопцов, В. Г., Баклашов И. В. «О постановке задач при оценке устойчивости подземных горных выработок» // ГИАБ № 4, 2004. с. 69–75.
6. Шерстов, В. А. Подземная разработка многолетнемерзлых россыпных месторождений. Якутск: Якутский госуниверситет, ИГДС СО РАН, 2002. 124 с.
7. Шерстов, В. А., Скуба В. Н., Лубий К. И., Костромитинов К. Н. Подземная разработка россыпных месторождений Якутии. Якутск: Якутское книжное издательство Якутск, 1981. 185 с.
8. Laubscher, D. H. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design // Journal of the South African Institute of mining and metallurgy, vol. 90, no. 10. Oct. 1990. pp. 257–273.
9. Laubscher, D. H., Jacubec J. The MRMR Rock Mass Classification for jointed rock masses // Foundations for Design. Brisbane, 2000. p.475–481.

### Role Web 3.0 technology in our life

Позилова Шахноза Хайдаралиевна, ассистент  
Ташкентский университет информационных технологий (Узбекистан)

Pozilova Shakhnoza Haydaraliyevna, assistant  
Tashkent University of Information Technologies

The internet has become a complex, seamless, and often imperceptible part of our everyday lives. In spite of this, some people think that to get excellent life have to use about such connection. The only thing that we have to know — internet is changing every minute, the laws are changing very quickly, and we try to see and learn every step.

To be known, nowadays connection as internet works at web 2.0. For example, Facebook, YouTube, Google, Mail and others connect with people helping Web 2.0.

If all our connection uses Web 2.0 What we expect from Web 3.0? In this article I explain ways of using Web 3.0 technologies in our life.

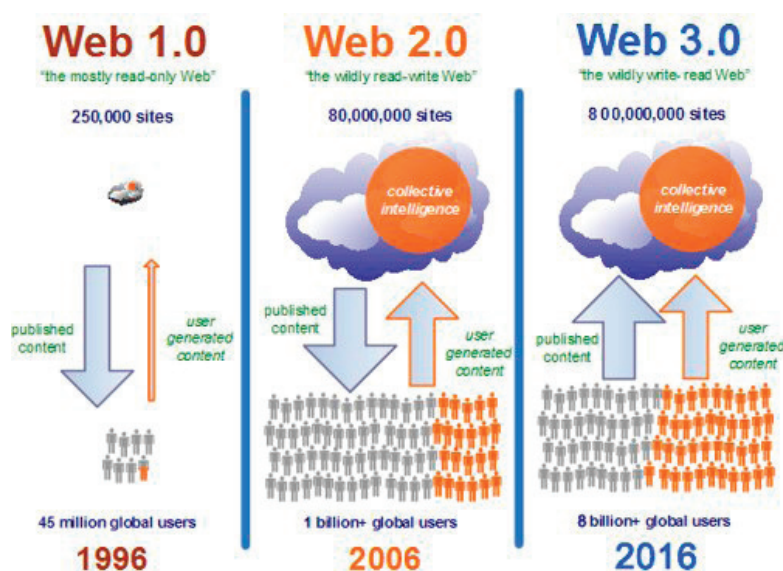
A lot has changed since the free of Apple’s first iPhone in 2007. We have seen a strong shift in user behavior so away from desktop computers in favor of new form-factor devices. The enabling technology has also brought about an entirely

new class of Web-enabled applications and architectural ideals. Meanwhile, monetization opportunities that capitalize on these changes are appearing. It is from a confluence of these changes that we assert Web 3.0 has begun.

As we saw, as compared with model Web 3.0 than model Web 2.0, quantity sites and users 8 time increase.

The Semantic Web [1] takes the solution further. It involves publishing in languages specifically designed for data: Resource Description Framework (RDF), Web Ontology Language (OWL), and Extensible Markup Language (XML). HTML describes documents and the links between them. RDF, OWL, and XML, by contrast, can describe arbitrary things such as people, meetings, or airplane parts.

These technologies are combined in order to provide descriptions that supplement or replace the content of Web documents. Thus, content may manifest itself as descriptive



data stored in Web-accessible databases, [2] or as markup within documents (particularly, in Extensible HTML (XHTML) interspersed with XML, or, more often, purely in XML, with layout or rendering cues stored separately). The machine-readable descriptions enable content managers to add meaning to the content, i.e., to describe the structure of the knowledge we have about that content. In this way, a machine can process knowledge itself, instead of text, using processes similar to human deductive reasoning and inference, thereby obtaining more meaningful results and helping computers to perform automated information gathering and research.

An example of a tag that would be used in a non-semantic web page:

```
<item> blog</item>
```

Encoding similar information in a semantic web page might look like this:

```
<item rdf: about=«http://example.org/semantic-web/»>Semantic Web</item>
```

Tim Berners-Lee calls the resulting network of Linked Data the Giant Global Graph, in contrast to the HTML-based World Wide Web. Berners-Lee posits that if the past was document sharing, the future is data sharing. His answer to the question of «how» provides three points of instruction. One, a URL should point to the data. Two, anyone accessing the URL should get data back. Three, relationships in the data should point to additional URLs with data.

The Semantic Web Stack illustrates the architecture of the Semantic Web. The functions and relationships of the components can be summarized as follows:

XML provides an elemental syntax for content structure within documents, yet associates no semantics with the meaning of the content contained within. XML is not at present a necessary component of Semantic Web technologies in most cases, as alternative syntaxes exist, such as Turtle. Turtle is a de facto standard, but has not been through a formal standardization process.

RDF is a simple language for expressing data models, which refer to objects (“web resources”) and their relationships. An RDF-based model can be represented in a variety of syntaxes, e.g., RDF/XML, N3, Turtle, and RDFa. RDF is a fundamental standard of the Semantic Web.

RDF Schema extends RDF and is a vocabulary for describing properties and classes of RDF-based resources, with semantics for generalized-hierarchies of such properties and classes.

[1] We may call Web 3.0 technology as Semantic web

[2] Artem Chebotko and Shiyong Lu, «Querying the Semantic Web: An Efficient Approach Using Relational Databases», LAP Lambert Academic Publishing, ISBN 978–3–8383–0264–5, 2009.

OWL adds more vocabulary for describing properties and classes: among others, relations between classes (e.g. disjointness), cardinality (e.g. «exactly one»), equality, richer typing of properties and characteristics of properties (e.g. symmetry), and enumerated classes.

SPARQL is a protocol and query language for semantic web data sources.

RIF is the W3C Rule Interchange Format. It’s an XML language for expressing Web rules which computers can execute. RIF provides multiple versions, called dialects. It includes a RIF Basic Logic Dialect (RIF-BLD) and RIF Production Rules Dialect (RIF PRD).

We will support this assertion by looking at the types of changes that occurred during the Web’s previous era to support labeling that Web 2.0. We then apply those criteria to show how comparable changes are once again occurring, thus justifying the acknowledgement of an entirely new generation of advancement on the Web. Let’s start with a close look at Web 2.0.

In the opening remarks of O’Reilly’s first Web 2.0 conference in 2004, Tim O’Reilly and John Battelle defined Web 2.0 as «Web as a platform», in which software would be built upon the Web rather than as a desktop application [1]. If we answer to this idea, Jesse James Garrett wrote an essay a year later in which he coined the term AJAX (Asynchronous JavaScript and XML), popularizing a client-side technique that became accepted best practice for implementing O’Reilly’s vision of the Web as a platform.

The increasing amount of time that Web users spend on new form-factor devices is creating a challenge for content creators, who are finding that their content does not monetize as well through these devices. According to Mary Meeker of Silicon Valley-based venture capital firm Kleiner Perkins, the effective CPM (cost per 1,000 impressions) for mobile devices is five times lower than that of the desktop [6]. Not all devices are created equal, however, with tablets generally delivering higher eCPM rates than phones. Nonetheless, the point remains that the ad-banner and paid-click advertising models may not best fit the use patterns of these new mobile devices. Where one window of opportunity closes, however, another opens.

## Conclusion

It has been only six years since the iPhone was first released, which set into motion many of the changes we have discussed. It is difficult to grasp the extent to which the Web has changed in such a short period of time. When reflecting upon all of this change, one has to wonder if it is sufficient to declare that an entirely new generation of Web innovation has occurred since Web 2.0, and so we sought to answer that question here.

Through reviewing the innovations most commonly associated with Web 2.0, it appears that what defines that generation really comes down to a convergence of three things: new enabling technology, enhanced monetization opportunities, and consequently new categories of products that resulted in new use patterns for end-users. By evaluating these criteria, we observed that indeed a significant transformation has begun that could be described as a generational advancement. And so we conclude, affirmatively, that Web 3.0 has already begun.



References:

1. O’Reilly, T. and Battelle, J. Opening Welcome: State of the Internet Industry. Web 2.0 Conference (San Francisco, CA). Oct. 5, 2004.
2. Liyang Yu (December 14, 2014).
3. John Davies (July 11, 2006). Semantic Web Technologies: Trends and Research in Ontology-based Systems. Wiley. ISBN 0–470–02596–4. <http://www.bothsidesofthetable.com/2011/11/14/future-of-tv-the-quick-version/>
4. <http://techcrunch.com/2012/08/13/tremor-video-4-screen-gopro/>
5. <http://mashable.com/2012/02/10/seo-google-plus/>
6. <http://money.cnn.com/2012/08/14/technology/startups/square-dorsey/index.html>
7. <http://pandodaily.com/2012/06/25/the-mobile-monetization-challenge-how-can-content-publishers-make-mobile-work/>
8. XML and Semantic Web W3C Standards Timeline». 2012–02–04.

## Challenges of manned missions to Mars

Полюшко Денис Александрович, студент;  
 Куимова Марина Валерьевна, кандидат педагогических наук, доцент  
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Polyushko Denis Alexandrovich, student  
 Kuimova Marina Valeryevna, PhD in Methods of TFL  
 National research Tomsk polytechnic university

*I think humans will reach Mars, and I would like to see it happen in my lifetime*

Buzz Aldrin

Year by year, the prospect of sending a manned spacecraft to the Red Planet is transforming from theoretical to practical implementation. Such a serious step as the conquest of a space object so distant from Earth, urgently requires joint forces of not only major space powers like Russia, USA, China, but also of private space companies. A successful flight of this complexity will not be possible without a conglomeration of the best scientists of the world, as well as additional funding for NASA.

Humans’ survival in the inhospitable space environment totally depends on the technology, specific expertise, specialized skills and available equipment [2, 4, 5]. Currently, engineers and scientists are working hard to develop the technologies astronauts will use to live and work on Mars. Today it is technically possible to deliver people to Mars; however, it is much more difficult to get them back to Earth. To do this we either have to carry a dual fuel supply, sending a second cargo ship with fuel that will be very, very expensive, or wait until astronauts are able to produce fuel from locally available resources on Mars.

The trip to Mars would probably take between seven and nine months, and the same time back. The entire time the astronauts have to be protected. However, scientists and experts stress the importance of the following difficulties that haven’t been solved yet:

- fuel storage (development of new technologies that would allow storage of propellant in space);

- risk factors of radiation (solar radiation would accumulate in an astronaut’s body, raising his or her risk of cancer);
- microgravity (weightlessness causes muscle loss, bone and calcium degradation and swelling of the optic nerve. If we don’t introduce new technologies to support astronauts’ health during zero-g, they might arrive on Mars weak, brittle-boned, and possibly blind);
- landing on the Martian surface (we need technologies to slow a landing vehicle down);
- survival on Mars (astronauts will probably need to use the planet’s raw materials to provide fuel, oxygen and food);
- Mars’ dust (the problem of keeping the human crew free of dust is rather challenging as Mars’ dust is considered to be toxic);
- psychological issues (isolation from home and no prospect of rescue may lead to mental problems, depression and reduction of cognitive functions);
- return flight (a spacecraft on Mars needs to have fuel to take off and return to Earth. It takes a lot of fuel and an expensive rocket to send the fuel to Mars for the return trip back to Earth);
- possible infection of mankind with Mars microbes [6, 7].

Confined spaces, high speeds and the inability to set foot on solid ground can play a cruel joke with anyone, even the most trained person. It is difficult to imagine that the astronauts will have to fly about 6 to 9 months to the Red Planet,

spend some time on it, then return for another 6 to 9 months. During all this time they will be in a small room under constant stress, 24 hours a day with the same colleagues whose communications cannot be refused. Of course, astronauts in space are always busy and have little time to think about something extraneous matters. However, such a long journey to Mars could greatly affect the psyche.

Despite the allure of the flight, scientists express doubt that the manned mission to Mars is safe for astronauts in today's technical level. Many experts are worried about the problem of ultrahigh radiation emanating from the sun. Even during normal orbital flight astronauts try to predict solar flares and take refuge in special shelters available on board. Yet, for the many months of a Mars flight the crew receives a fair amount of harmful X-rays. A recent study claims that the human central nervous system is characterized by "an unexpected and unique vulnerability to cosmic radiation", which can damage the brain to such an extent that it will reduce the effectiveness of the astronauts and subject them to long-term cognitive impairment [1].

It is in the planning stage that the astronauts will initially live in the ship and gradually build a city on Mars with its infrastructure and agriculture. This settlement will dramatically increase the chances of mankind's survival, if, say, an asteroid suddenly falls on our "alma mater" or unprecedented outbreak of disease occurs [3].

However, there are issues that make it doubtful that the life of Mars' colonists can ever be called attractive, giving rise to the question: will they have enough patience to survive in the unusual and unfavorable Mars' conditions?:

- low force of gravity;
- low temperature;
- high background radiation;
- poor choice of food;
- delays in radio transmissions from Mars (one-way radio transmission can take 14 to 30 minutes, with an equal delay for the response, etc.).

It is planned that upon arrival on Mars the astronauts will settle into a more comfortable space complex where they could:

- take a shower;
- cook fresh food;
- wear ordinary clothes, etc.

Yet, if someone wants to leave the complex, he will need to wear a special suit. Furthermore, humanity still needs the technologies we don't presently have to support long life of Mars' colonists to:

- building a residential complex on Mars;
- grow food;
- support oxygen balance in the complex;
- mine and process the Mars' raw materials to construct space vehicles, and launch to other planetary bodies from the surface of Mars without wasting time and resources here on Earth, etc.

Thus, the majority of scientists claim that present technologies are weak in supporting single and return manned missions to Mars. We need to develop technologies that could save astronauts from space radiation, support their health in microgravity, technologies to support well-being of astronauts on Mars, building and maintenance of the future colony, and return flight of the people to Earth.

#### References:

1. В NASA договорились о пилотируемом полете к Марсу. <https://nplus1.ru/news/2015/05/08/boldenspeech> (accessed May 10, 2015).
2. Вяткин М. Ф., Куимова М. В. A few words about space tourism // Молодой ученый. 2015. № 7. с. 103–105.
3. Для полёта на Марс требуются... смертники?! [http://technicamolodezhi.ru/rubriki\\_tm/tehnika\\_i\\_tehnologii/dlya\\_poleta\\_na\\_mars\\_trebuyutsya\\_smertniki](http://technicamolodezhi.ru/rubriki_tm/tehnika_i_tehnologii/dlya_poleta_na_mars_trebuyutsya_smertniki) (accessed May 10, 2015).
4. Сысоева Н. В., Куимова М. В. Some hazards of long-term space flight // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). с. 315–316.
5. Федотов Д. В., Куимова М. В. About astronaut training for space missions // About astronaut training for space missions // Молодой ученый. 2015. № 9. с. 331–332.
6. Dangers of a manned mission to Mars. <http://www.telegraph.co.uk/news/science/space/10200818/Dangers-of-a-manned-mission-to-Mars.html> (accessed May 10, 2015).
7. Why we can't send humans to Mars yet, and how we'll fix that <http://www.wired.co.uk/news/archive/2013-05/31/getting-to-mars> (accessed May 10, 2015).

## Arresters type metal-oxide with serial clearance (EGLA)

Ромашкина Алла Юрьевна, магистрант;

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

*The article deals with arresters type metal-oxide with serial clearance. It briefly describes the advantages EGLA, working principle and purpose of implementation of a research object.*

Arresters type metal-oxide with serial clearance (EGLA) optimizes the positive characteristics of old components in the construction fuses — Serial arrester — and the newest component in the design of fuses, called metal-oxide varistor (MOV). This combination can significantly improve the security and reliability of the line utilities. However, due to a negative opinion on using fuses in series with the previous arresters based on silicon carbide (SiC), sometimes there are problems with perception EGLA.

Most often these types of arresters are used for protecting lines. When used on a transmission line, they may be designed so as not to operate at switching, but only when a lightning strike.

When used on a shielded line (upper grounded conductor), and where spark gaps are used primarily for reverse mitigate overlapping insulators (for supporting a wire), they can be very small, as are required not to be as stringent as in unshielded lines. When using unshielded lines in their size which are considerably larger so that they could skip 100 percent of the lightning current. In any case, the dimensions depend on the fuses in application.

EGLA has two main components: MOR and the spark gap. MOR is the metal oxide non-linear resistor having approximately the same characteristics as the standard MOV arrester. Spark gap — the unit is typically an air gap in series.

### Strengths of EGLA

Section fuses previous generation SiC consisted of hundreds of components, including many spark gaps in parallel resistors, inductors, etc. These were high-tech elements, always enclosed in a casing. In contrast, surge EGLA are only two conclusions, and nothing more.

The design of the previous generation SiC arresters section dischargers to function as a switch that turned on at the time of discharge, and then turns off when the voltage across it becomes close to zero. In this case, the gap is used for switching and to turn off the discharger.

Arrester EGLA, on the contrary, is only used for the operation — not till the end. Instead, MOR assumes the function of stopping the discharge. Thanks to its excellent non-linear characteristics, MOR overcomes very negative properties of the sequence of the arrester, known as adherence to current aging due to changes in the frequency of the supply current.

In older SiC arresters, MOR consisted of blocks of silicon carbide, which were used to limit the current supply frequency, following the discharge through the gap after the pulse. These limited levels of current arresters are protected from exces-

sive damage and it is possible to complete the operation at low voltage to a low level. However, they also allow sufficiently large currents to pass through the gap, which causes deterioration of fuses and a gradual change their characteristics.

Design Advantages consecutive fuses

### 1. The smaller creepage distances MOR

Since MOR connected in series with the arrester, a voltage drop across it in steady state is close to zero. Therefore, the casing does not need in such a strict requirements like standard fuses and creepage MOR can be reduced. Since the isolation of MOR is effective only after 100 microseconds discharge, awnings are not needed.

### 2. Fewer MOV disks

Another significant advantage of the sequential spark gap is that the reference voltage MOR may be 20–30 percent less than the direct connection of arresters. The reference voltage must still be large enough to carry out its functions off after the passage of the discharge. This means that the inclusion MOR voltage may be only a few percent above the system voltage, it will be observed whenever a short circuit during discharge of the spark gap. Minimal voltage reference reduces the number of disks MOV or at least reduce consumption of materials.

The second advantage is a smaller reference voltage that decreases disc stack finite residual voltage will be less. This means that a long and difficult goal to achieve the lowest possible residual stress per unit length MOV disk gets closer. Without prejudice to the total amount of protective discs may be used with a higher residual stress per unit length.

### 3. Less body

Due to 30 percent smaller creepage and 30 percent less material consumption, the volume of the housing can be reduced by 50 percent compared with conventional arresters without series gaps.

### 4. Less wear body

Another positive aspect of the inclusion of a spark gap in series with body MOR is that the aging of the body due to electrical discharges becomes insignificant. Due to the fact that there is no resistive path for the arc discharge on the surface of the housing, it is practically negligible to wear.

### 5. Less wear material MOV

Metal-oxide unit employed in the newest generation of dischargers are resistant to wear due to the modern technology of their production. Although their manufacture is relatively expensive. Perhaps varistor blocks for EGLA can effectively influence their value.

#### 6. Zero power loss

These aspiration parameters of high voltage equipment were made in EGLA. We fuses metal-oxide with successive gaps may have both internal and external leakage. Even if the losses are small, in the presence of millions of service fuses amount of these losses will be impressive.

#### 7. Energy processing

Since MOR is connected in series with a spark gap in the steady state voltage on or offline. This means that in case of instantaneous discharge EGLA, MOR does not withstand all required system voltage fuses as in the case of the metal-oxide with successive gaps. Since there is no powerful exposure voltage on MOR, then there is no need to achieve a thermal stability, as in the designs without fuses. Number of processed energy is determined only by the ability to withstand a single pulse, without limiting thermal stability. It follows that, if we ignore the thermo stability this embodiment can use smaller wheels.

#### 8. Insensitive to rolls on the line

Historical disadvantage of MOV arresters without spark gaps was their sensitivity to strong fluctuations in frequency. It was not so much for the early generation of SiC arresters, because their domestic dischargers were often set to off in excess of the system voltage is greater than one and a half times. This capability is available again for EGLA type fuses, and consequently, adjustment of the arrester can make them insensitive to most electric voltage surge on the line.

#### 9. A choice of surge

Unique and useful properties of the structure EGLA is that they do not respond to voltage spikes during switching, but only on a bolt of lightning. This has never happened in previous design fuses (except for structures with external arresters). Since only discharger responsible for their work, only the clearance of a gap determines at what voltage it happens. If it is set at a level just above the maximum roll when switching, it works only when there is a lightning strike. This effect, in turn, and checks the test plan, as now a audio switching surges or TLD type tests are not necessary.

Due to the fact that the external surge arrester acts as an insulator from the system after a failure, the probability of disconnection of the arrester constant as it glitches practically to zero. Indeed, in the short-term a failure of MOR system near the faulty unit will be limited to setting the level of the spark discharge by EGLA arrester. However, this is not a problem with guaranteed open failure, which means that no permanent system is closed due to a fault or overload protector.

Another advantage of this open mode failure is that the pendants isolating any of the discharger are required. Isolating suspension is used in fault-tolerant polymer arresters. When such a surge fails, it essentially fails briefly. This means

that without disconnecting any type and isolating suspension system shutdown occurs undesirable.

The transition from SiC arresters to MOV arresters at the end of the 80s led to a significant reduction in weight and size of these components. EGLA design allows for even greater weight loss, although not such a significant. This reduction in weight allows dischargers to change their configuration that has not been practiced in the past, and provides unlimited opportunities for this.

If you look at modern air network in the United States, you can be surprised to find the distribution lines emergency surge protectors, established over 50 years ago. And, interestingly, almost all of these 'ancient' arresters have external dischargers and represent an era of 'excluding fuses' when external arresters were needed. It seems that a new generation of SiC arresters of direct connection to the distribution system will be replaced by MOV arresters. Although devices with external arresters are probably still used. Due to the relatively low dielectric material load, the expected lifetime EGLA is very large — comparable to the lifetime of the insulator.

Two questions need to pay further attention.

The first — a fault indication.

Without isolation devices is difficult to find the faulty arrester. A possible solution is built-in fault indicator. An example of this is shown in Figure 6. In this configuration, the display device is activated (as all modern circuit breakers) current error Overload EGLA and part or all of the electrodes of the arrester may fall off or fall on the ground.

The second question, which requires a permit for this type of fuses, involves setting up a discharger. All instructions require EGLA make adjustments arrester on the spot. In this case, the responsibility is not based on the manufacturer, and a tuner. Fortunately, a placing surge line has a relatively wide range, and does not affect the performance of the system.

It is known that the use of the line arresters can alleviate or eliminate off line due to lightning strikes. We also know that the in calculation the reliability and dependability of dischargers must be taken into account. Naturally, the ideal would be dischargers with zero probability of failure. It offers arresters EGLA.

Number fuses also affect the reliability of the system. Generally, the larger fuses, the more likely are blackouts due to overloading. However, in the case EGLA, a zero probability of false trips, the number of installed fuses does not affect the reliability of the overall system.

Thus, we can conclude that the arresters EGLA obviously a step forward in the constant search of ways to protect the distribution lines and transmission lines from lightning strikes. Having a good ecological potential, lower cost with high reliability, longer life and lower life-cycle costs, we can expect that they will arresters lines of the.

#### References:

1. Wikipedia, the free encyclopedia [electronic resource] / American non-profit organization «Fund of Wikipedia». — United States, 2001. Access: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

## Process automation of accounting and investigation of technological violations by software package "Accident rate"

Ромашкина Алла Юрьевна, магистрант;

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

*The article deals with special software designed to automate accounting processes and investigating technological violations in the electricity sector. It briefly describes the purpose of research, introduction, objectives, functions and features of the studied object.*

In our time, the heads of leading companies have adopted the decision to implement workflow automation systems to self assess as the advantages of new technology to work with documents. In the field of electric power automation problem is particularly relevant in connection to the large amount of documentation and the need in accounting and controlling investigation process violations. One of the latest developments created to address the pressing issue is the software package "Accident rate" (the system). Its predecessor was the software SAF, but it let make a base power failure occurred without damaging equipment, economic damage, creating events for preventing such events, the possibility of creating acts of technological failures and others, they must have necessary parameters. The software package capabilities "Accident rate" has completely replaced the SAF. The system is used as part of a multi-level structure of the power facility. In this case, to exchange information between different departments of the company digital communication channels are used as being combined into the overall corporate information computer network.

Software package "Accident rate" is designed to automate the process of entering journal entries outages and acts of investigation, their adjustments and further in-depth analysis of the of investigation results of the accidents causes in accordance with the Rules of investigation into the causes of the power accidents (the Rules), approved by the Government of the Russian Federation in October 28, 2009. № 846 [1] and department documents concerning the ability to produce reports and graphical output forms.

The system automates the following functions required in the process of accounting and analysis of accidents and equipment damage intended for technical specialists of auditing technical services:

1. The administration function.
2. The journaling outages.
3. The function of conducting acts of investigation.
4. The lock function changes the process of implementation of emergency arrangements.
5. the transactional data storage and retrieval from storage.
6. Functions for data consolidation for centralized storage — module «Integration Center».
7. The function of data integration to interact with other automated information systems.

8. The function to create output forms.

9. The function block analysis.

The main purpose of the system is:

- clarification of previously received timely information on the trip log;
- clarification of previously received timely information on the acts of the investigation;
- search and view the available data in order to analyze accidents, Statistics, risk identification reliability of the violation;
- build reports on the trip log and acts in formats \*.docx and \*.xlsx, and visualization of statistical information through charts and bar graphs, as well as multiple images (\*.pdf format and \*.tif);
- the ability to edit the built classifiers (plant and equipment, accounts of a violation, etc.), with the possibility of discharge or admission to (from) the format (s) \*.xlsx;
- unloading and receiving reference tables, profiles, security groups, system configuration, as well as acts of investigation as for backup purposes, and during the transfer of data between different installations of the product.

The system provides the possibility to receive acts of existing energy companies in the database using the data conversion mechanism. To transfer the investigation of acts of the Russian Ministry and the subject of operational dispatch management in the electric power provided unloading acts to the format of the System Operator Workstation «Base accidents in the electric power industry».

Moreover, this software is designed for the modern structure of the electricity sector, built on the basis of subordination. Within this framework, implemented access rights between users as to the various units of the program, as well as to the data store.

Search for documents is carried out at the expense of the filter mechanism on any information fields, and the unit of analysis allows you to create output forms of different configurations at the request of the user without programmers.

In the system provides access to an unlimited number of users. Access to applications and files is done through role-model in which each security group has a set of access rights to different blocks of the program needed to perform their tasks.

The system is a solution based on Web-based technologies, realizing the process of collecting evidence, the formation of consolidated reports, analytical reports on the trip and alarm in enterprises, measures to reduce accidents.

Thus, the studies above, led to the conclusion that one of the most important factors that enable to ensure smooth operation of the enterprise, is the operational management, accounting and control. This software allows you to monitor the progress of the investigation, draw up plans for the maintenance

and repair, monitor the implementation of planned activities, monitoring of technological failures, to take timely measures to restore electricity.

Perhaps the only disadvantage of this software is scant number of classifiers technological failures, which creates inconvenience in selecting the staff responsible causes of violations of the existing database. Currently, however, the developers are working on supplement software package "Accident rate" all necessary parameters.

#### References:

1. Resolution of the Government of the Russian Federation of 28.10.2009 № 846. — P. 1–7.
2. Wikipedia, the free encyclopedia [electronic resource] / American non-profit organization «Fund of Wikipedia». — United States, 2001. Access: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

## Обоснование основных динамических параметров устройства для резки непрерывного пластичного бруса мыла

Сабилов Баходир Атабекович, кандидат технических наук, доцент;  
 Рузиев Исламбай Самандарович, кандидат технических наук, доцент;  
 Самандаров Абдор Исламбаевич, студент;  
 Курамбаев Шерзод Раимбергенович, кандидат технических наук, доцент;  
 Холмуратов Халилло Сариевич, старший преподаватель;  
 Рузметова Дилдора Тожибаевна, магистрант  
 Ургенчский государственный университет (Узбекистан)

*В статье приведено обоснование динамических условий принципиально новой универсальной конструкции устройства для резки непрерывного пластичного бруса мыла с плоскими ножами.*

**Ключевые слова:** мыло, режущий элемент, рычаг, барабан, угол реза, радиус барабана, точность резки, перпендикулярность реза.

*The article describes the case dynamics conditions fundamentally new universal design of the device for cutting the continuous plastic soap with flat blades.*

**Key words:** A soap, a cutting element, lever, drum, corner cutting, radius of a drum, accuracy sharp, perpendicular cutting.

В настоящее время на предприятиях масложировой промышленности используется большое количество основного технологического и вспомогательного оборудования. Важной тенденцией в совершенствовании этого оборудования, является его автоматизация, увеличение количества аппаратов непрерывного, полунепрерывного и периодического действия.

Внедрение полностью механизированных и автоматизированных процессов на масложировых предприятиях происходит в основном благодаря применению комплексных линий и установок. Отдельные типы оборудования, работающие в составе линий, должны обладать достаточно высокой надежностью и долговечностью, поскольку неисправность в каждой единице оборудования приводит к простоям всей линии.

Одним из лимитирующих участков, снижающих производительность линии производства мыла, качество ко-

нечного продукта, является участок его резки. Недостаточная надежность и качество резки, обеспечиваемые известными автоматами резки мыла, приводят к частым простоям линии и высокому выходу брака.

При производстве мыла и некоторых видов специальной продукции, используется метод непрерывно формируемого пластичного бруса.

При автоматизации резки, непрерывно движущегося пластичного бруса, возникает проблема, заключающаяся в обеспечении измерения длины отрезаемого куска и непосредственно процесса резания бруса в состоянии его непрерывного движения.

Известно, что автоматы для резки мыла подразделяются на дискретные и роторные.

Использование способа дискретизации в устройствах существенно влияет на снижение производительности производств. Вследствие дискретности работы автомата

возникает необходимость в большем числе приводов или в сложной системе передач. Конструкция автомата в связи с этим весьма усложняется, приобретает большие габариты.

В роторных устройствах используется синхронизация движения режущего элемента с движением пластичного бруса. При этом сигнал для обеспечения синхронизации в большинстве устройств, получают от различных поверхностей пластичного бруса. Однако, во всех известных устройствах передача этого сигнала от бруса к исполнительному органу, осуществляется через достаточно длинную кинематическую цепь, включающую фрикционные, зубчатые, цепные и другие передачи. В результате накапливаются достаточно большие погрешности, искажающие длину отрезаемого куска, а также перпендикулярность и плоскостность поверхности реза.

Исходя из вышеизложенного установлено, что наиболее перспективными из устройств для резки мыльного бруса являются роторные устройства. Однако недостаточность исследования этих устройств, а также отсутствие методики их проектирования препятствует разработке новых надежных конструкций и является актуальной задачей сегодняшнего дня.

Также при анализе известных устройств установлено существенное влияние параметров пластичного бруса мыла на параметры устройства. В то же время анализ показал, что взаимосвязь этих параметров достаточно не исследована и в особенности для роторных устройств, в которых сигнал для обеспечения синхронизации получают от различных поверхностей пластичного бруса.

По результатам исследований разработан и изготовлен опытный образец принципиально нового универсального устройства для резки непрерывного пластичного бруса мыла, отличающийся высокой надежностью, точностью отрезаемого размера и высокой перпендикулярностью плоскости реза

Предлагаемое устройства для резки непрерывного пластичного бруса мыла состоит из двух барабанов. Вращение барабана, синхронное со скоростью перемещения пластичного бруса мыла, обеспечивается плоскими ножами, шарнирно установленными на рычагах.

Для обеспечения вращения барабана устройства резки и разрезания пластичного бруса за счёт энергии самого бруса, очевидна необходимость выполнения определенных условий (рис.1.).

В результате динамических исследований найдены условия, определяющие работоспособность предлагаемого устройства.

Проведен динамический анализ сил и реакций в процессе резки.

Анализ сил и реакций, действующих на устройство резки со стороны пластичного бруса (рис. 2), показал, что наиболее неблагоприятным, с точки зрения обеспечения вращения барабанов за счёт энергии пластичного бруса, является момент окончания реза, когда нож находится в крайней нижней точке своей траектории. Ввиду того, что в этот момент реакции, противодействующие крутящему моменту, создаваемому усилием  $F_{\text{толк}}$  толкания пластичного бруса, имеют максимальное значение, то при данном положении элементов устройства резки возникает опасность заклинивающего эффекта.

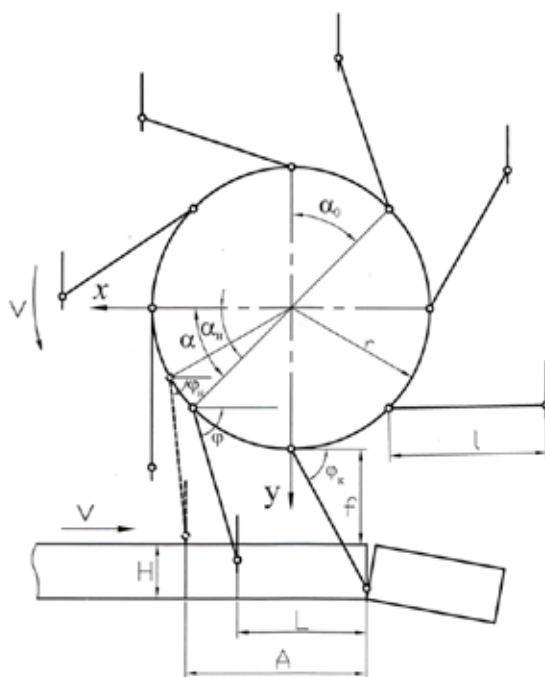


Рис.1. Кинематическая схема роторного устройства с плоскими ножами для резки непрерывного пластичного бруса мыла

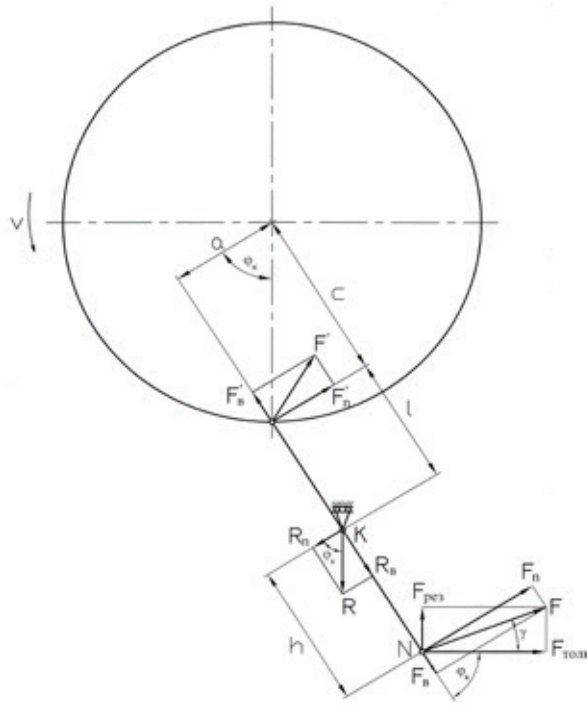


Рис.2. Схема сил и реакций, действующих на устройство в критическом положении

Установлено, что для обеспечения вращения барабана устройства резки и разрезания пластичного бруса за счёт энергии самого бруса, необходимо выполнение следующих условий:

– при нахождении ножа в нижней точке своей траектории крутящий момент, действующий на барабаны устройства, был больше нуля;

– значение угла реза  $\varphi$  не должно превышать его найденное критическое значение  $\varphi_k$ .

$$\varphi_k \leq \text{arccctg} \left[ -\frac{1}{\text{ctg}\gamma} + \sqrt{\frac{1}{\text{ctg}^2 + 1}} \right]$$

Литература:

1. Даурский, А. Н., Мачихин Ю. А. Резание пищевых материалов. — М: Пищевая промышленность, 1980. — 206с.
2. Искалиев, К. З. Рабиль М. А. Терво Н. Б. К вопросу исследования динамики элементов резательного автомата ротационного типа // Труды ВНИИСтроммаша. — Гатчина, 1971. — № 11. — С.152–163.
3. Товбин, И. М. Залипо М. Н. Журавлев А. М. Производство мыла. — М: Пищевая промышленность, 2005. — 399с.
4. Патент РУз № 02377 2003. Устройство для резки непрерывного пластичного бруса / Сабилов Б. А., Рузиев И.С // Патентное Ведомство Республики Узбекистан. 2003.

### Теоретическое исследование процессов тепло- и массообмена в солнечных опреснительных установках

Самиев Камолиддин Аъзамович, кандидат технических наук, доцент;  
 Саидов Курбон Сайфуллоевич, кандидат физико-математических наук, доцент;  
 Аминов Алижон, магистрант  
 Бухарский государственный университет (Узбекистан)

В данной работе исследованы характеристики солнечных опреснительных установок. На основе тепловой схемы опреснителя записаны дифференциальные уравнения теплового баланса и решено с методом преобразования Лапласа. Для решения полученных алгебраических систем уравнений использовано метод итерации.



Создан алгоритм вычисления и разработан программное обеспечение в программном пакете Mathcad 2001 professional.

Получение питьевой воды за счет использования солнечной энергии, является одним из перспективных направлений возобновляемых источников энергии. Как известно, теоретическое исследование тепло и массообменных процессов солнечных опреснительных установок позволяет, определить оптимальные тепловые режимы и геометрические параметры и соответственно сэкономит время и материальные ресурсы для многочисленных экспериментов.

В настоящее время многие ученые в мире ведут фундаментальные и практические исследования по сфере солнечных водоопреснительных установок [1–5].

### Теоретическая часть

Для математического моделирования тепловых и массообменных процессов солнечных опреснительных установок (тепловая схема приведена на рис.1) записывается уравнения теплового баланса для каждого элемента: уравнения теплового баланса для прозрачной части (стекло) установки

$$\alpha_n q_{над} + q_{рв} + q_{кв} + q_{ув} = q_{пн} + q_{кп}, \quad (1)$$

уравнения теплового баланса для воды находящийся внутри установки

$$cm \frac{dT_г}{dt} = (\tau\alpha)_{эфф1} F_г q_{над} + q_{дв} - (q_{рв} + q_{кв} + q_{ув}) - q_б, \quad (2)$$

где,  $T_г$ - температура воды, °С;  $F_г$ - поверхность воды, м<sup>2</sup>;  $q_{над}$ - падающая суммарная солнечная радиация, Вт/м<sup>2</sup>;  $t$ - время, с;  $(\tau\alpha)_{эфф1}$ - эффективный коэффициент поглощения солнечной радиации воды;  $c$ - удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·град);  $m$ - масса воды, кг;

уравнения теплового баланса дна установки

$$(\tau\alpha)_{эфф2} q_{над} = q_{дв} + q_{до}. \quad (3)$$

Плотности теплового потока, приведенные в уравнениях (1)-(3) определяются следующими уравнениями:

плотность теплового потока с излучением от воды к прозрачной среде (стекло) установки

$$q_{рв} = h_{рв} (T_г - T_n), \quad (4)$$

где,  $T_n$  – температура прозрачной среды (стекло), °С;  $h_{рв}$ - коэффициент теплообмена с излучением от воды к прозрачной среде, Вт/(м<sup>2</sup>·град).

плотность теплового потока с конвекцией от воды к прозрачной среде (стекло) установки

$$q_{кв} = h_{кв} (T_г - T_n), \quad (5)$$

плотность теплового потока с испарением от воды к прозрачной среде (стекло) установки

$$q_{ув} = h_{ув} (T_г - T_n), \quad (6)$$

плотность теплового потока с излучением от прозрачной среде (стекло) к окружающей среде

$$q_{пн} = h_{пн} (T_n - T_o), \quad (7)$$

плотность теплового потока с конвекцией от прозрачной среды (стекло) к окружающей среде

$$q_{кп} = h_{кп} (T_n - T_o), \quad (8)$$

плотность теплового потока от воды к окружающей среде

$$q_б = U_б (T_г - T_o), \quad (9)$$

плотность теплового потока с конвекцией от дна установки к воде

$$q_{дв} = h_{дв} (T_д - T_г), \quad (10)$$

плотность теплового потока от дна установки к окружающей среде

$$q_{до} = U_{до} (T_д - T_o). \quad (11)$$

Решая уравнения (1) и (3) относительно  $T_n$  и  $T_д$  получаем следующие

$$T_n = \frac{(h_{рв} + h_{кв} + h_{ув}) T_г + h_{пн} T_n + h_{кп} T_o + \alpha_n q_{над}}{h_{рв} + h_{кв} + h_{ув} + h_{пн} + h_{кп}}, \quad (12)$$

$$T_д = \frac{h_{дв} T_г + U_{до} T_o + (\tau\alpha)_{эфф} q_{над}}{h_{дв} + U_{до}}. \quad (13)$$

$$\frac{dT_г}{dt} + a T_г = F,$$

$$T_г = \frac{F}{a} [1 - \exp(-at)] + T_{г0} \exp(-at), \quad (14)$$

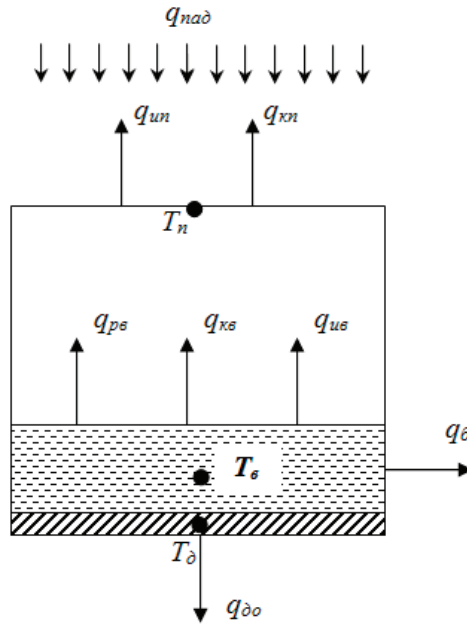


Рис.1. Тепловая схема солнечной водопреснительной установки

где,

$$a = (cm)^{-1} [(h_{\text{дв}} + h_{\text{рв}} + h_{\text{кв}} + h_{\text{ув}})F_{\text{д}} + U_{\text{б}}F_{\text{б}}],$$

$$F = (cm)^{-1} [(\tau\alpha)_{\text{эфф1}}F_{\text{б}}q_{\text{над}} + F_{\text{д}}h_{\text{дв}}T_{\text{д}} + (h_{\text{рв}} + h_{\text{кв}} + h_{\text{ув}})F_{\text{г}}T_{\text{н}} + U_{\text{б}}F_{\text{б}}T_{\text{о}}].$$

Решая уравнения (12), (13) и (14) с методом итерации можно определить температуры элементов установки.

Коэффициенты теплоотдачи определяются следующими уравнениями [6,7]:

коэффициент теплоотдачи с конвекцией между водой и прозрачной средой

$$h_{\text{кв}} = 0.884 \left[ (T_{\text{г}} - T_{\text{н}}) + (T_{\text{г}} + 273) \frac{P_{\text{г}} - P_{\text{н}}}{268.9 \cdot 10^3 - P_{\text{г}}} \right]^{1/3}, \tag{15}$$

$$P_{\text{г}} = \exp \left( 25.317 - \frac{5144}{T_{\text{г}} + 273} \right),$$

$$P_{\text{н}} = \exp \left( 25.317 - \frac{5144}{T_{\text{н}} + 273} \right),$$

коэффициент теплоотдачи с излучением между водой и прозрачной средой

$$h_{\text{рв}} = \varepsilon_{\text{эфф}} \sigma [(T_{\text{г}} + 273)^2 + (T_{\text{н}} + 273)^2] (T_{\text{г}} + T_{\text{н}} + 546), \tag{16}$$

$$\varepsilon_{\text{эфф}} = \left( \frac{1}{\varepsilon_{\text{н}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{г}}} - 1 \right)^{-1}, \tag{17}$$

коэффициент теплоотдачи с испарением между водой и прозрачной средой

$$h_{\text{ув}} = 16.273 \cdot 10^{-3} h_{\text{кв}} \frac{P_{\text{г}} - P_{\text{н}}}{T_{\text{г}} - T_{\text{н}}} \tag{18}$$

Масса конденсата определяется следующими уравнениями

$$M_{\text{ув}} = \frac{q_{\text{ув}}}{L} \times 3600 = h_{\text{ув}} \frac{T_{\text{г}} - T_{\text{н}}}{L} \times 3600. \tag{19}$$

Коэффициент теплоотдачи с излучением от прозрачной среды к окружающей среде

$$h_{\text{пн}} = \frac{\varepsilon_{\text{н}} \sigma (T_{\text{н}}^4 - T_{\text{о}}^4)}{T_{\text{н}} - T_{\text{о}}}, \tag{20}$$

$$\text{где, } T_{\text{н}} = T_{\text{о}} [0.711 + 0.0056T_{\text{мп}} + 0.000073T_{\text{мп}}^2 + 0.013 \cos(15t)]^{1/4} \tag{22}$$

температура небосвода.

Коэффициент теплоотдачи с конвекцией от прозрачной среды к окружающей среде

$$h_{\text{к}} = 2.8 + 3.0 \cdot V. \tag{23}$$

Коэффициент теплопередачи от воды к окружающей среде

$$U_{\sigma} = \left( \frac{\delta_{\sigma}}{\lambda_{\sigma}} + \frac{1}{h_{\kappa}} \right)^{-1} \tag{24}$$

Коэффициент теплопередачи от дна установки к окружающей среде

$$U_{\sigma o} = \left( \frac{\delta_{\sigma}}{\lambda_{\sigma}} + \frac{1}{h_{en}} + \frac{1}{h_{\kappa}} \right)^{-1} \tag{25}$$

**Методика проведения расчетов и результаты**

Геометрические и теплотехнические параметры установки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Геометрические и теплотехнические параметры установки

Параметры	Значение
$F_n$	3м <sup>2</sup>
$F_6$	0.35 м <sup>2</sup>
$F_B = F_A$	2.5 м <sup>2</sup>
$e_n$	0.9
$e_B$	0.9
$a_n$	0.05
$a_B$	1-exp (-bd <sub>B</sub> )
$a_A$	0.9
$L$	2022×10 <sup>3</sup> Дж/кг
$d_6$	1.2 мм
$d_A$	1.2 мм
$l_{\sigma}$	14.4 Вт/м
$l_A$	14.4 Вт/м
$s$	5.67×10 <sup>-8</sup> Вт/м <sup>2</sup>

Суммарная солнечная радиация, падающая на поверхностях установки, определено с методом приведенной в [6].

Расчеты проведены в пакете Mathcad 2001 professional.

Температура окружающей среды и падающая суммарная солнечная радиация приведено в рис.2.

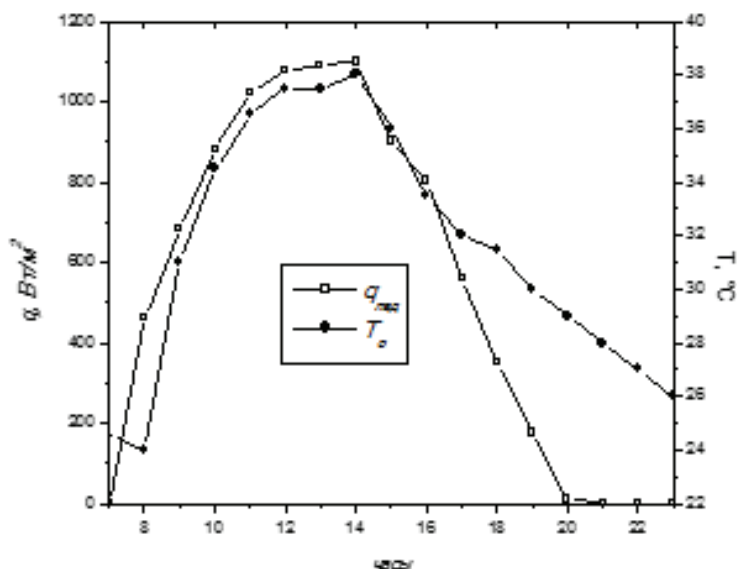


Рис. 2. Температура окружающей среды и падающая суммарная солнечная радиация

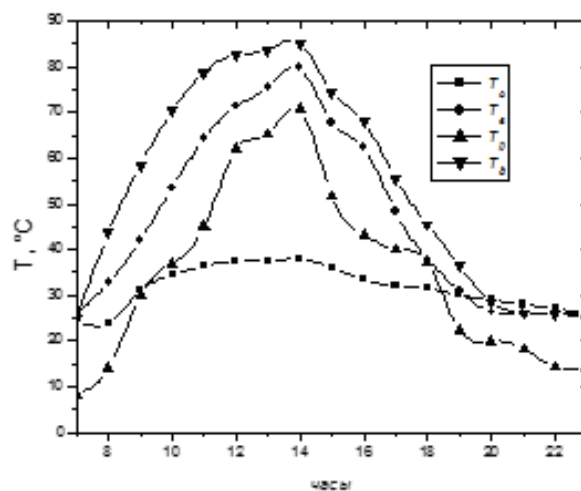


Рис. 3. Расчетные результаты температура воды, дна установки и прозрачной среды

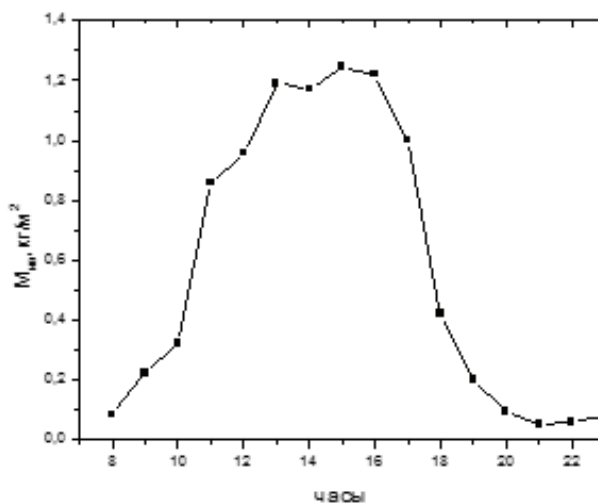


Рис. 4. Расчетные результаты часовые значения массы конденсата.

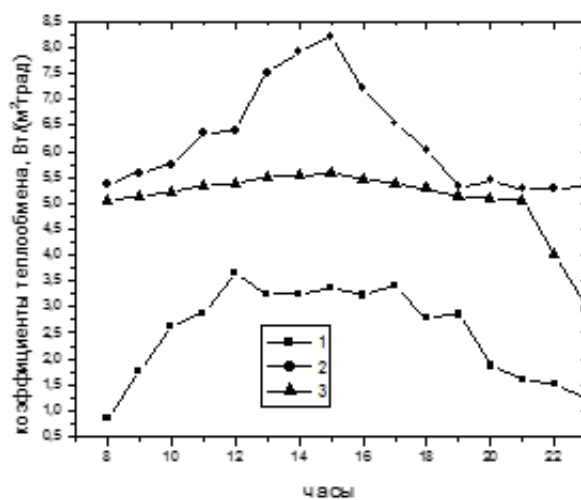


Рис. 5. Суточные изменения коэффициентов теплообмена, 1 — коэффициент теплоотдачи с конвекцией между водой и прозрачной средой; 2-коэффициент теплоотдачи с излучением между водой и прозрачной средой; 3-коэффициент теплоотдачи с конвекцией от дна установки к воде.

Как видно из рис.3 максимальное значения температуры воды внутри установки достигает до 80°C и соответственно суточное значения массы полученного конденсата 8.17 кг (рис.4).

### Выводы

Проведенные теоретические исследования позволяют сделать следующие выводы:

- уравнения (12) — (14), полученные методом Лапласа дают возможность оценить температурный и рабочий режим солнечных опреснительных установок;
- используя уравнение (19) можно определить суточную массу конденсата;
- изменяя граничные условия, приведенные на рис.2, можно оценить рабочий режим солнечной опреснительной установки любого дня года.

Литература:

1. Dimri, V., Sarkar B., Singh U., Tiwari G.N. Effect of condensing cover material on yield of an active solar still: an experimental validation, *Desalination* 227 (2008) 178–189.
2. Phadatare, M. K., Verma S. K. Influence of water depth on internal heat and mass transfer in a plastic solar still, *Desalination* 217 (2007) 267–275.
3. Аvezов, Р.Р., Ахатов Ж.С. Коэффициент использования тепла солнечных водоопреснительных установок с многоступенчатыми испарительно-конденсационными камерами // *Гелиотехника*. 2007. № 2. с. 3–7.
4. Аvezов, Р.Р., Клычев Ш.И., Ахатов Ж.С. Расчетно-экспериментальное исследование теплотехнических характеристик многоступенчатой испарительно-конденсационной камеры солнечной опреснительной установки // *Гелиотехника*. 2005. № 3. с. 30–34.
5. Клычев, Ш.И., Эркинбаева Г., Бахрамов С.А., Исманжанов А.А. Теплотехнические характеристики солнечных парниковых опреснителей. // *Гелиотехника*. 2002. № 2. с. 38–43.
6. Duffie, J., Beckman W. *Solar engineering of thermal processes*. New York. Wiley, 1991. — 919p.
7. Yunus, A. Cengel. *Heat and mass transfer: a practical approach*. New York. McGraw-Hill, 2006. 853p.

## Колебания линейных вязкоупругих систем с конечным числом степеней свободы

Сафаров Исмаил Ибрагимович, доктор физико-математических наук, профессор;  
 Ядгаров Уктам Турсунович, кандидат технических наук, доцент  
 Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

*В работе описываются постановки задач о собственных и вынужденных колебаниях. Рассматриваются колебания механических систем, состоящих из абсолютно жестких тел, соединенных между собой безмассовыми вязкоупругими элементами.*

**Введение.** Вопросы использования затухание динамических вязкоупругих систем с двумя степенями свободы, при всей изученности проблемы [1,2], редко рассматриваются в научной литературе. Вместе с тем, задачи защиты объекта в виде твердого тела на двух упругих опорах имеют значение для инженерной практики, поскольку системы «балочного» типа достаточно широко используются в транспортной динамике [3,4,5,6].

**Постановка задачи. Общие положения.** Рассмотрим линейную механическую систему с  $n$  степенями свободы, которая колеблется относительно устойчивой равновесной формы [1]. Движение системы опишем в обобщенных перемещениях  $x_j(t)$ , которые равны нулю в положении равновесия. Тогда потенциальную энергию  $V$  можно выразить через эти перемещения, как квадратичную форму, а кинетическую энергию  $T$  и функцию рассеяния  $D$  представить квадратичными формами обобщенных скоростей  $\dot{x}_j(t)$ . Используя уравнения Лагранжа, получаем уравнения движения

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dT}{dx_j} \right) + \frac{dD}{dx_j} + \frac{dV}{dx_j} = f_j(t), \quad j = 1, \dots, n. \tag{1}$$

Обобщенная внешняя сила  $f_j(t)$  для каждой координаты может быть активной силой или силой, создаваемой заданным движением координат. Система (1) записывается в матричном виде относительно матрицы — столбца  $\{X\} = \text{colon}(x_1, \dots, x_n)$  следующим образом:

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = \{f\}, \quad (2)$$

где матрица инерции  $[M]$ , матрица демпфирования  $[C]$  и матрица жесткости  $[K]$  являются симметричными матрицами  $n$ -го порядка. Возмущение описывается посредством матрицы столбца  $\{f\}$ . Физический смысл коэффициентов матриц таков:  $M_{jk}$  — составляющая количества движения по  $j$  при единичной скорости по  $k$ ,  $C_{jk}$  — демпфирующая сила по  $j$  при единичной скорости по  $k$ ,  $K_{jk}$  — упругая сила по  $j$ , обусловленная единичным перемещением по  $k$ .

Установившиеся периодические колебания — это колебания, форма волны которых есть периодическая функция времени. Их можно представить как сумму тригонометрических функций с соизмеримыми частотами. Например, для колебаний, выраженных через ускорение

$$a = \sum A_k \cos(\omega_k t - \Phi_k) = \text{Re} \sum A_k e^{i(\omega_k t - \Phi_k)} = \sum A_k \sin(\omega_k t - \Theta_k) = \text{Re} \sum A_k e^{i(\omega_k t - \Theta_k)}, \quad (3)$$

где  $\omega_k = 2\pi f_k$ ,  $\omega_k$  — угловая частота,  $f_k$  — соответствующая частота. Если все  $f_k$  кратны какой-то основной частоте, то результирующая форма волны периодически повторяется. В противном случае она является квазипериодической или почти периодической. Комплексная экспоненциальная функция используется для теоретических анализов вместо тригонометрических функций отчасти потому, что ее производная по времени проще и введение комплексных чисел дает простой способ выражения изменения фаз и амплитуд колебаний. По стандартному фундаментальному методу определения амплитуд, когда резонансы комплекующего оборудования известны, сначала вычисляют отношения реакции к возбуждению в зависимости от частоты или измеряют их. Исходя из предположения о линейности, каждая синусоида может быть умножена на постоянное число и мгновенные характеристики на различных частотах могут быть суммированы. Отношение характеристики к возбуждению часто выражается как комплексное число, содержащее информацию о сдвиге фаз. Если характеристика и возбуждение представлены в одних и тех же единицах (например, как ускорение), то это отношение известно под названием способность передаваться. Если характеристика представляет собой движение (или, точнее скорость), а возбуждением является сила, то оно (отношение) называется подвижностью; в обратной ситуации — механическим импедансом. Если в точках необходимой характеристикой и точка возбуждения не совпадают, то более точными терминами будут подвижность переноса и сопротивление переноса. Ускорение получают умножая скорость на  $2\pi f$  в соответствии с формулами для дифференцирования или на  $i2\pi f$  — при использовании комплексных обозначений. Мнимое число  $i$  выражает расхождение по фазе, равное  $90^\circ$ . Установившиеся колебания представляют собой условное математическое понятие. Если  $A_k$ ,  $\Phi_k$  и  $\Theta_k$  являются медленно меняющимися функциями времени, то функции вида (3) описывают квазипериодические колебания (сумму квазисинусоид). Для описания периодических колебаний рассматриваются только величины  $A_k$  или соответствующие среднеквадратичные значения. Фазовые углы  $\Phi_k$  или  $\Theta_k$  не учитываются. Однако мгновенные ускорения складываются арифметически, а величины синусоид при такой же частоте по правилам действия над векторами. Разность фаз теоретически имеет большое значение при анализе механических систем, а практически служит признаком резонанса, когда резонансные частоты определяются экспериментальным путем. Вблизи средней частоты фаза характеристики изменяется быстрее, чем величина частоты. Если матрица возбуждения  $\{f\} = 0$ , то уравнение (2) описывает свободные колебания системы, а если  $\{f\} \neq 0$  — то вынужденные.

**Свободные колебания диссипативных систем.** Рассмотрим линейную диссипативную систему, движение которой описывается матрицами  $[M]$ ,  $[C]$  и  $[K]$ . Решение уравнения (2) можно найти в виде [7]

$$\{X(t)\} = \{W\}e^{\lambda t} \quad (4)$$

где  $\lambda$  — комплексное число,  $W$  — комплексная числовая матрица — столбец. Числа  $\lambda$  называют характеристическими показателями, а числа  $i\lambda$  (или —  $i\lambda$ ) — комплексными частотами. Характеристические показатели должны быть корнями характеристического уравнения

$$\det[[M]\lambda^2 + [C]\lambda + [K]] = 0, \quad (5)$$

или в развернутом виде:

$$\begin{vmatrix} a_{11}\lambda^2 + b_{11}\lambda + C_{11} & a_{12}\lambda^2 + b_{12}\lambda + C_{12} & \dots & a_{1n}\lambda^2 + b_{1n}\lambda + C_{1n} \\ a_{21}\lambda^2 + b_{21}\lambda + C_{21} & a_{22}\lambda^2 + b_{22}\lambda + C_{22} & \dots & a_{2n}\lambda^2 + b_{2n}\lambda + C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}\lambda^2 + b_{n1}\lambda + C_{n1} & a_{n2}\lambda^2 + b_{n2}\lambda + C_{n2} & \dots & a_{nn}\lambda^2 + b_{nn}\lambda + C_{nn} \end{vmatrix} = 0.$$

Система с  $n$  степенями свободы имеет  $2n$  характеристических показателей  $\lambda_1, \dots, \lambda_{2n}$ . Если все характеристические показатели суть простые корни уравнения (5), то общее решение уравнения (2) будет равно сумме  $2n$  частных решений вида (4)

$$\{X(t)\} = \sum_{k=1}^{2n} C_k \{W_k\} e^{-i\lambda_k t}. \tag{6}$$

Здесь  $C_k$  — произвольные комплексные постоянные, а  $W_k$  — числовые матрицы — столбцы. Представим характеристические показатели в виде

$$\begin{aligned} \lambda_k &= \omega_{Rk} - i\omega_{Ik}, \\ \lambda_{n-k} &= \omega_{Rk} + i\omega_{Ik}, \quad (k = 1, \dots, n), \end{aligned} \tag{7}$$

где  $\omega_{Ik} > 0$  и  $\omega_{Rk} > 0$  — действительные числа, называемые коэффициентами демпфирования и собственными частотами демпфированной системы соответственно. Если  $\{W_k\}$  и  $\lambda_k$  удовлетворяют уравнению (5), то комплексно сопряженные  $\{W_k^c\}$  и  $\lambda_k^c$  также ему удовлетворяют. Когда демпфирование отсутствует, все корни лежат на мнимой оси. При демпфировании корни находятся около мнимой оси. Соответствующие  $2n$  собственные векторы удовлетворяют условиям ортогональности:

$$\begin{aligned} (\omega_R + \omega_I) X_R^T [M] X_I + X_R^T [C] X_I &= 0, \\ X_R^T [M] X_I + \omega_R \omega_I X_R^T [M] X_I &= 0, \end{aligned} \tag{8}$$

где индекс  $T$  обозначает транспонирование. Каждый раз, когда  $\omega_R \neq \omega_I$ , условия ортогональности можно сделать справедливыми для кратных корней путем соответствующего выбора собственных векторов, связанных с кратным корнем.

**Характеристики демпфирования.** Коэффициент демпфирования  $\omega_I$ , задаваемой формулой (7) на первой части, имеет размерность  $C^{-1}$ . За безразмерную характеристику демпфирования может быть принята одна из следующих величин:

$$\begin{aligned} \delta_{\Omega k} &= \frac{\omega_{Ik}}{\Omega} \text{ - относительный коэффициент затухания;} \\ \delta_{\omega_{Rk}} &= \frac{\omega_{Ik}}{\omega_{Rk}} \text{ - относительный частотный коэффициент затухания;} \\ \delta_{\pi k} &= 2\pi \delta_{\omega_{Rk}} \text{ - логарифмический декремент затухания,} \\ &\text{а также декремент затухания, равный отношению двух последовательных амплитуд колебаний с частотой } \omega_{Rk}: \\ \delta_{ek} &= e^{\delta_{\pi k}} \frac{x_j(\pi \omega_{Rk} m)}{x_j(2\pi \omega_{Rk} (m+1))} \quad (m = 1, 2, \dots), \end{aligned}$$

где  $\Omega$  некоторая базисная (масштабная) частота. Если коэффициент затухания  $\omega_{Ik}$  положителен, то параметры  $\delta_{\pi k}$  и  $\delta_{ek}$  называются инкрементами возрастания колебаний. Связь между коэффициентом затухания  $\omega_I$  и амплитудой колебаний можно записать в виде:

$$\omega_I = \frac{\omega_R}{2\pi} \ln \frac{A_{n+1}}{A_n}.$$

**Задача нахождения комплексных собственных значений.** При наличии симметричных матриц инерции, демпфирования и жесткости  $[M]$ ,  $[C]$  и  $[K]$  задача состоит в определении комплексных собственных значений  $\lambda_k = \omega_{Rk} - i\omega_{Ik}$  и комплексных собственных векторов  $X_k = X_{Rk} + iX_{Ik}$ , которые удовлетворяют уравнению (5). Эта задача значительно труднее и менее изучена, чем задача о вещественных собственных значениях уравнения (5). Для консервативной системы все характеристические показатели чисто мнимые (рис.1, а) и равны с точностью до множителя  $+i$  собственным частотам системы. Все частные решения являются периодическими функциями времени, а движение в общем случае стационарным (почти периодическим).

Если система диссипативная и обладает полной диссипацией, то все характеристические показатели лежат в нижней полуплоскости комплексной переменной (рис.1, б). Все частные решения — затухающие функции и, следовательно, общее решение — затухающая функция времени. Если система обладает неполной диссипацией, то часть ее показателей лежит в левой полуплоскости, а часть — на мнимой оси. Среди частных решений содержатся периодические, отвечающие недемпфированным степеням свободы. Если система обладает отрицательной диссипацией, то среди характеристических показателей можно найти такие, действительные части которых отрицательны (рис.1, г). Соответствующие частные и общие решения будут неограниченно возрастающими во времени функциями.

**Демпфирование вынужденных колебаний.** В стационарной задаче вектор-функция  $\{f\}$  изменяется по гармоническому закону  $\{f\} = \{F\} e^{-i\omega t}$  с заданной частотой и амплитудой  $\{F(\omega)\}$ . Начальные условия не ставятся [3]. Вместо них требуется выполнение условия периодичности решения с той же частотой  $\omega$ :  $\{X(t)\} = \{W\} e^{i\omega t}$ . В результате получаем систему алгебраических уравнений относительно комплексной компоненты искомого вектора  $\{W\}$ :

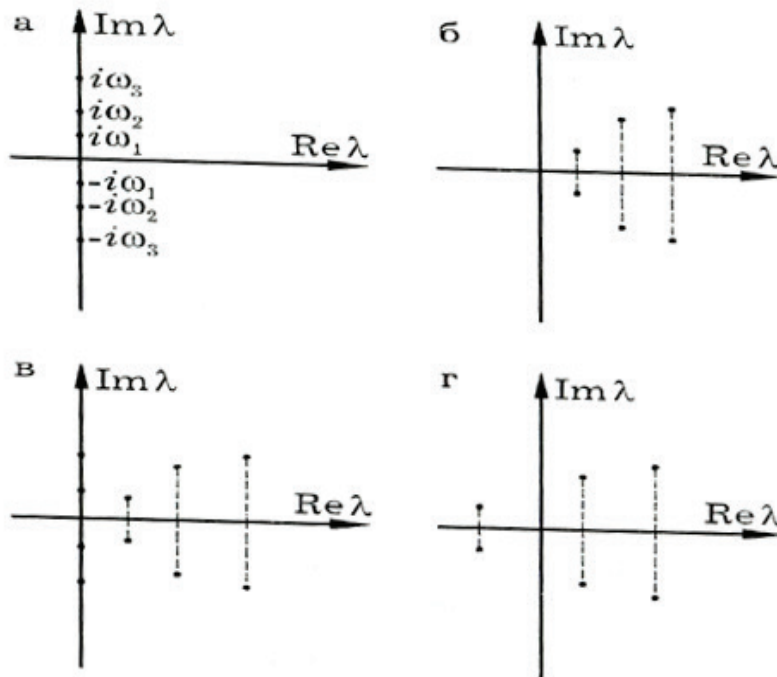


Рис. 1. Расположение характеристических показателей для систем: а — консервативной, б — с полной диссипацией, в — с неполной диссипацией, г — с отрицательной диссипацией

$$(-\omega^2[M] + i\omega[C] + [K])\{W\} = \{F\}. \tag{9}$$

Систему (9) с комплексными коэффициентами можно решить, например, методом Гаусса.

**Заключение.** Предварительная оценка динамических свойств механических систем с N- степенями свободы, прикрепляемом через сочленение (или шарнир) показывает возможность изменения достаточно широкого спектра изменения частотных характеристик.

Литература:

1. Сафаров, И. И. Колебания и волны в диссипативно неоднородных средах и конструкциях. Ташкент: Фан, 1992. 250с.
2. Сафаров, И. И., Тошев Н. Н. Установившиеся линейные колебания структурно-неоднородной вязкоупругой системы с несколькими степенями свободы. Изв.АН УзССР сер. техн. наук. 1988, № 3. С.37–40.
3. Корнев, С. В. Динамические гасители колебаний. Теория и технические приложения. / Б. Г. Корнев, П. М. Резников. — М.: Наука, 1963. — 535 с.
4. Елисеев, С. В., Нерубенко Г. П. Динамические гасители колебаний. — Новосибирск.: Наука. 1982. — 182 с.
5. Карамышкин, В. В. Динамические гасители колебаний. — Л.: Машиностроение. 1988. — 108 с.
6. Ротенберг, Р. В. Подвеска автомобиля. / Р. В. Ротенберг — М.: Машиностроение. 1972.
7. Сафаров, И. И., Хусанов Д. Х. Вынужденные нелинейные вязкоупругой системы с конечным числом степеней свободы. Докл. АН УзССР, 1984, № 3. С.19–21.



## Снижение погрешности гамма-спектрометрических измерений обогащения ядерных материалов

Семенов Андрей Олегович, старший преподаватель;  
Кузнецов Михаил Сергеевич, старший преподаватель;  
Захаров Алексей Сергеевич, студент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Заплаткина Дарья Сергеевна, инженер  
Петербургский институт ядерной физики имени Б. П. Константинова (г. Гатчина, Ленинградская обл.)

*Проведен анализ погрешности определения обогащения образцов урана с помощью неразрушающих методов анализа с целью обеспечения функционирования системы учета и контроля ядерных материалов. Измерения проводились с помощью сцинтилляционного детектора на основе кристалла иодида натрия и полупроводникового германиевого детектора. Для измерения были использованы образцы, содержащие оксид урана различной массы. С помощью статистических методов обработки измерений было установлено, что погрешность определения обогащения при измерении сцинтилляционным детектором может достигать до 82%. При использовании рассчитанной поправки смещения на основе данных полученных с помощью полупроводникового детектора было определено, что погрешность определения обогащения может быть снижена в среднем на 47,2%. Таким образом, учет поправок, рассчитанных статистическими методами позволяет использовать сцинтилляционные детекторы для нужд учета и контроля ядерных материалов.*

**Ключевые слова:** обогащение, количество неучтенного материала (КНМ), сцинтилляционный детектор.

Одной из систем, обеспечивающих необходимый уровень наблюдения за деятельностью в атомной промышленности является система учета и контроля ядерных материалов, задачами которой являются непрерывное систематическое обеспечение точности информации о ядерном материале и обнаружение несанкционированных действий. Учет ядерных материалов основывается на результатах измерений количественных характеристик и атрибутивных признаков ядерных материалов.

Развитие и совершенствование неразрушающих методов анализа изотопного состава непосредственно связано с решением практических задач в области учета и контроля ядерных материалов, а также обнаружения и предотвращения их незаконного оборота. Одним из основных методов неразрушающего анализа является гамма-спектрометрия, нашедшая широкое применение в области контроля за ядерными материалами. Данный метод является основным при определении изотопного состава ядерных материалов и обогащения урана [1].

В свою очередь любой процесс измерений неизбежно связан с необходимостью обработки данных. Наиболее важными аспектами обработки результатов анализов яв-

ляются точность и правильность расчетов, которая включает в себя учет погрешностей на всех этапах работы и их корректную интерпретацию [2].

Исходя из этого целью работы является оптимизация процесса анализа изотопного состава урана при использовании спектрометрического тракта на основе сцинтилляционного NaI (Тl) детектора, посредством снижения погрешности результатов измерений с помощью применения статистических методов.

Для определения погрешности измерений необходимо провести серию экспериментов по определению количества ядерного материала. В работе использовался спектрометрический тракт на базе сцинтилляционного NaI (Тl) детектора (Canberra, модель 802–2x2), обработка спектров производилась в программной среде Genie-2000, в качестве образцов был использован диоксида урана UO<sub>2</sub> различной массы обогащением по U235 2%. Идентификация нуклидов проводится по созданной библиотеке нуклидов. Для каждого источника проводится по 3 измерения на расстоянии 0 см от детектора по 1200 с живого времени. Результаты измерений представлены в таблице [3,4].

**Таблица 1. Результаты измерения образцов с помощью сцинтилляционного детектора**

Масса образца, г	4	6	8	10	12	14
Рассчитанное обогащение, %	0,4557	0,3221	0,9272	0,4630	0,4886	0,4812
	0,3117	0,8896	0,9654	0,5847	0,9442	0,3015
	0,3037	0,2660	0,9389	0,6649	0,8236	0,5922
	0,8024	0,2670	0,5509	0,5418	0,8995	0,4091
	0,3157	0,8896	0,9674	0,6159	0,6552	0,4562

Среднее обогащение, %	0,3570	0,4926	0,9438	0,5709	0,7521	0,4583
Дисперсия измеренного результата	0,0574	0,4905	0,0004	0,0317	0,0985	0,1024
Абсолютная погрешность измерения обогащения	1,6430	1,5074	1,0562	1,4291	1,2479	1,5417
Относительная погрешность измерения обогащения, %	82,1492	75,3710	52,8079	71,4569	62,3940	77,0843

Как видно из таблицы, погрешность результатов измерений значима и в условиях множественности измерений вносит существенную неопределенность. Для увеличения точности измерений применялись методы математической статистики.

Для оценки систематической погрешности и введения поправки смещения был использован метод нескольких образцов. В качестве более точного метода использовался полупроводниковый германиевый детектор высокого разрешения фирмы Capbeta в совокупности с установленной управляющей средой Genie-2000 [3].

Для расчета оценки смещения проводятся измерения при помощи того же набора образцов диоксида урана. Для каждого источника проводится по 3 измерения на расстоянии 0 см от детектора по 1200 с живого времени. Средние значения обогащения, измеренные с помощью полупроводникового детектора, рассматриваются в качестве принятого значения.

Расчет оценки смещения производился по формулам [5]:

$$\theta = \frac{\sum_{k=1}^m w_k \cdot (\bar{x}_k - \mu_k)}{\sum_{k=1}^m w_k}$$

$$w_k = (\sigma_k^2 + s^2/n_k)^{-1}$$

$$s^2 = \sum_{k=1}^m (n_k - 1) \cdot s_k^2 / (n - m)$$

где  $\theta$  — оценка смещения (постоянной составляющей систематической погрешности);

$m$  — количество используемых образцов;

$n_k$  — количество измерений  $k$ -го образца;

$n$  — суммарное число измерений;

$\mu_k$  — принятое значение измеряемой величины  $k$ -го образца (определяется с помощью более точного метода);

$\sigma_k$  — стандартное отклонение принятого значения  $k$ -го образца;

$\bar{x}_k$  — среднее измеренное значение величины  $k$ -го образца;

$s_k^2$  — выборочная дисперсия измеряемой величины.

Результаты расчета оценки смещения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Оценка смещения определения массы образца

Номер образца, k	$\sigma^2$	$s^2$	w	$\theta$
1	0,00008	0,05738	23,00663	-1,35436
2	0,00366	0,49054	21,25564	
3	0,00181	0,00043	22,12301	
4	0,00022	0,03171	22,92836	
5	0,00003	0,09854	23,02916	
6	0,00005	0,10243	23,02232	

Полученная оценка смещения вводится в качестве поправки каждого измеренного значения с противоположным знаком, компенсируя, таким образом, вычис-

ленное смещение. Результаты определения обогащения урана с помощью сцинтилляционного детектора с учетом коррекции, представлены в таблице 3.

Таблица 3. Определение обогащения урана NaI (Tl) детектором с учетом коррекции

Масса образца, г	4	6	8	10	12	14
Обогащение, определенное без применения коррекции, %	0,438	0,527	0,870	0,574	0,762	0,448
Относительная погрешность определения обогащения без применения коррекции	78,109	73,656	56,501	71,297	61,890	77,598
Обогащение, определенное с применением коррекции, %	1,792	1,881	2,224	1,928	2,117	1,802
относительная погрешность определения обогащения с применением коррекции	10,390	5,938	11,217	3,579	5,828	9,880

По результатам анализа измерений было установлено, что введение поправки смещения результатов измерений, определенной с помощью более точного метода анализа стандартных образцов и математически-статистических приемов, позволяет уменьшить относительную систематическую составляющую погрешности измерений рассматриваемым детектором в среднем на 47,2%. Основное условие, используемое для оценки смещения — образцы должны быть максимально приближены по физическому, химическому и материальному составу к исследуемым с помощью рассматриваемого детектора образцам. В условиях нашего эксперимента это условие выполняется, поскольку использовался один набор образцов урана.

Поскольку основной вклад в погрешность измерений вносит систематическая погрешность, рассмотрим зависимость величины количества неучтенного материала (КНМ) от систематической погрешности:

Зависимость изменения величины КНМ, ее дисперсии, стандартного отклонения и доверительных интервалов выражается формулами [5]:

$$\begin{aligned} \Delta KHM &= 0,472 \cdot \sqrt{S}, \\ \Delta(\sigma_{KHM}^2) &= S \cdot (\sigma_{\delta_2}^2 - \sigma_{\delta_1}^2) = -0,3244 \cdot S, \\ \Delta(\sigma_{KHM}) &= \sqrt{S} \cdot 0,0131, \\ \Delta Di &= 2\sqrt{S} \cdot 0,472 \cdot (z_{1-\alpha/2} + 1). \end{aligned}$$

где  $\sigma_{KHM}^2$  — дисперсия КНМ,

$\sigma_{\delta,j}^2$  — дисперсия систематической погрешности для j-й страты;

S — весовой коэффициент дисперсии систематической погрешности для j-й страты

$\Delta Di$  — доверительный интервал при заданном уровне доверительной вероятности.

На основе расчетов произведенных по формулам получен график зависимости изменения величины КНМ от размера страты и средней массы каждого элемента в страте.

При уменьшении доверительного интервала уменьшается разброс значений величины КНМ, которые могут

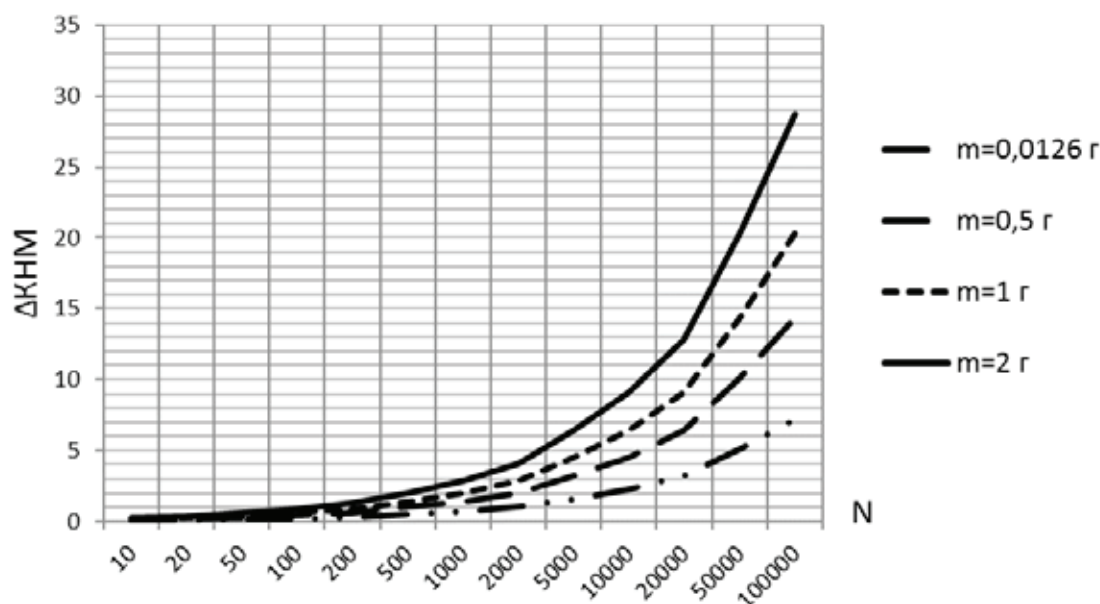


Рис. 1. Изменение величины КНМ от размера страты и массы элементов

быть приняты обусловленными погрешностями измерений, следовательно, увеличивается вероятность обнаружения потери или переключения материалов. Увеличение вероятности обнаружения потерь или переключения материалов при применении рассмотренного метода в среднем составило 14,6%

В заключении необходимо отметить следующие:

- по результатам анализа результатов была произведена оценка поправки на смещение, которая составила 1,35%. Применение коррекции смещения позволило уменьшить относительную систематическую погрешности измерений сцинтилляционным детектором на 47,2%;

- установлена зависимость изменения величины количества неучтенного материала, дисперсии, стандартного отклонения и доверительных интервалов КНМ, а также вероятности обнаружения переключения ядерных материалов при изменении погрешности измерений. При применении рассмотренного метода увеличение вероятности обнаружения переключения ЯМ составляет порядка 14,6%.

Таким образом, при применении статистических методов для снижения погрешности измерений результаты измерений обогащения урана сцинтилляционным детектором могут быть использованы в задачах учета и контроля с приемлемой точностью.

Литература:

1. IAEA safeguards glossary. — 2001 ed. — Vienna: IAEA, 2002—230 с. — (International nuclear verification series, ISSN 1020—6205; no. 3)
2. НП-030—12 «Основные правила учета и контроля ядерных материалов»: Федеральные нормы и правила, утв. приказом Ростехнадзора от 17.04.2012 N 255 — М.: Минюст России, 2012—23с.
3. Canberra Industries. Canberra Scintillation Detectors — Model 802/ — [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www2.ph.ed.ac.uk/~td/SHlab/Projects/EPR/802.pdf>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ. Дата обращения: 12.11.2014 г
4. Saint Gobain Crystals. Physical Properties of Common Inorganic Scintillators./ — [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.hep.caltech.edu/~zhu/papers/08\\_tns\\_crystal.pdf](http://www.hep.caltech.edu/~zhu/papers/08_tns_crystal.pdf), свободный. — Загл. с экрана. — Яз. Англ. Дата обращения: 13.11.2014 г
5. Кремер, Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика/ учебник. — М.: ЮНИТИ, 2000. — 543 с 42

## Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха

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

*В работе представлены результаты исследований применения компримированного природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха на эффективные показатели дизеля Д — 245.7 размерности 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива.*

**Ключевые слова:** дизель, газодизель, природный газ, наддув, эффективные показатели.

Одним из важнейших направлений борьбы за сохранение чистоты воздушного бассейна следует признать поиск более «чистого» топлива для транспортных двигателей. В вятской государственной сельскохозяйственной академии на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов проведены исследования по влиянию применения компримированного природного газа (КПГ) и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха (ПОНВ) на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 [1—4].

Общий вид экспериментальной установки и пульт управления электротормозным стендом представлены на рис. 1.

Регулировочные характеристики для определения эффективных показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) при работе дизеля на дизельном топливе (ДТ) и на КПГ на номинальной частоте вращения коленчатого вала ( $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ) и на частоте вращения при максимальном крутящем моменте ( $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ) представлены на рис. 2 [5—6].

Рассматривая показатели работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе дизеля на КПГ на номинальной частоте вращения ( $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 0,947 \text{ МПа}$ ), можно отметить, что при работе дизеля на установочном УОВТ  $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$  до верхней мертвой точки (ВМТ), при постоянном суммарном часовом расходе топлива  $G_T$

$= 18,8 \text{ кг/ч}$  эффективная мощность  $N_e$  составляет 86,0 кВт, а значение суммарного удельного эффективного расхода топлива  $g_e = 218 \text{ г/(кВт} \cdot \text{ч)}$ . При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{\text{впр}} = 7^\circ$  до в.м.т. эффективная мощность  $N_e$  увеличивается до значения 90 кВт, при этом значение суммарного удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  снижается до 208 г/(кВт · ч), т.е. на 4,6%. При дальнейшем увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{\text{впр}} = 9^\circ$  до в.м.т. происходит снижение эффективной мощности  $N_e$  до значения 88 кВт, при этом значение суммарного удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  увеличивается до 210 г/(кВт · ч), т.е. на 1,0%. Снижение суммарных значений часового расхода  $G_T$  и удельного расхода  $g_e$  топлива при работе дизеля на всех установочных УОВТ на ПГ по сравнению с работой на ДТ объясняется большим значением теплоты сгорания ПГ. Из анализа графиков  $N_e$ ,  $G_T$  и  $g_e$  следует, что при работе дизеля на ПГ оптимальный установочный УОВТ при частоте вращения  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$  при условии наилучшей экономичности равен  $7^\circ$  до ВМТ [7—12].

Рассматривая показатели работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ на частоте вращения максимального крутящего момента ( $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 1,036 \text{ МПа}$ ) при работе дизеля на КПГ, можно отметить, что при установочном УОВТ  $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$  до ВМТ, при постоянном суммарном часовом расходе топлива  $G_{T\Sigma} = 13,4 \text{ кг/ч}$  эффективная мощность  $N_e$  составляет 64,5 кВт. Значение



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки (а) и пульт управления электротормозным стендом (б)



Рис. 2. Влияние применения КПГ на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ , и  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 1,036 \text{ МПа}$ : — — дизельный процесс, - - - газодизельный процесс

суммарного удельного эффективного расхода топлива  $g_{e\Sigma}$  при данной мощности составляет  $203 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ . При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{впр} = 7^\circ$  до ВМТ. эффективная мощность увеличивается до значения  $N_e = 69,5 \text{ кВт}$ , а величина суммарного удельного эффективного расхода топлива  $g_{e\Sigma}$  снижается и составляет  $191 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ . Уменьшение значения  $g_e$  составляет  $5,9\%$ . При дальнейшем увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{впр} = 9^\circ$  до ВМТ. эффективная мощность снижается до значения  $N_e = 64,5 \text{ кВт}$ , а величина суммарного удельного эффективного расхода топлива  $g_{e\Sigma}$  увеличивается и составляет

$203 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ . Увеличение значения  $g_e$  составляет  $6,3\%$ . При частоте вращения, соответствующей максимальному крутящему моменту ( $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 1,036 \text{ МПа}$ ), сохраняется характер изменения кривых эффективной мощности и удельного эффективного расхода топлива, установленный для номинальной частоты вращения двигателя. Из анализа кривых регулировочной характеристики по установочному УОВТ (см. рис. 2) следует, что для всех режимов работы дизеля, исходя из минимального удельного расхода топлива  $g_e$ , при работе дизеля на ДТ оптимальным является установочный УОВТ  $\Theta_{впр} = 9^\circ$

до ВМТ, а при работе дизеля на ПГ  $\Theta_{\text{впр}} = 7^\circ$  до ВМТ. При работе дизеля на более ранних УОВТ при работе дизеля на ПГ на режимах, близких к номинальным нагрузкам, значение «жесткости» работы двигателя превышает норму, установленную заводом-изготовителем, т.е.  $(dp/d\phi)_{\text{max}}$  составляет более 1,0 МПа/град. При работе дизеля на более поздних установочных УОВТ на режимах номинальной нагрузки происходит интенсивное повы-

шение температуры охлаждающей жидкости, следствием чего является перегрев двигателя [13–18].

Проведенные исследования показали, что дизель устойчиво работает на КПП при соотношении топлив на номинальном режиме: газа — 80...85%, запальной порции дизельного топлива — 15...20%. Все исследования рабочих процессов проводились при таком соотношении КПП и ДТ [19–24].

#### Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Скрябин М. Л. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха при работе на природном газе: Монография / Под общей редакцией В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2008. — 150 с.
2. 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.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
4. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
5. Лопатин, О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в отработавших газах тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 13–15.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 24–26.
7. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
8. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 28–30.
9. 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.
10. 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.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
12. Лопатин, О. П., Лиханов В. А. 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.
13. Лопатин, О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 (Д-240) при работе на природном газе путем применения рециркуляции отработавших газов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2004. — 18 с.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
15. 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.
16. RU 2260706 С1, 20.09.2005.
17. 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.

18. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. RU 2257482 С2, 27.07.2005.
23. Лопатин, О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 (Д-240) при работе на природном газе путем применения рециркуляции отработавших газов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2004. — 200 с.
24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с.

## Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха

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

*В работе представлены результаты применения компримированного природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха на экологические показатели дизеля Д — 245.7 размерности 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива.*

**Ключевые слова:** дизель, газодизель, природный газ, наддув, экологические показатели.

В настоящее время уменьшение загрязнения атмосферного воздуха токсичными веществами, выделяемыми промышленными предприятиями и автомобильным транспортом, является одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством. В вятской государственной сельскохозяйственной академии на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов проведены исследования по влиянию применения компримированного природного газа (КПГ) и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха (ПОНВ) на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 [1–4].

Содержание токсичных компонентов в отработавших газах (ОГ) дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) для номинальной частоты вращения ( $n = 2400$  мин<sup>-1</sup>,  $p_e = 0,947$  МПа) и частоты вращения при максимальном крутящем моменте ( $n = 1700$  мин<sup>-1</sup>,  $p_e = 1,036$  МПа) представлено на рис. 1 [5, 6].

Как видно из графиков при всех значениях установочных УОВТ при работе дизеля на КПГ в ОГ происходит снижение содержания оксидов азота, сажи, но происходит рост суммарных углеводородов, оксида и диоксида углерода. Эта тенденция наблюдается как при номинальной

частоте вращения ( $n = 2400$  мин<sup>-1</sup>,  $p_e = 0,947$  МПа), так и при частоте вращения максимального крутящего момента ( $n = 1700$  мин<sup>-1</sup>,  $p_e = 1,036$  МПа) [7].

Снижение содержания оксидов азота в ОГ на 15..20% при работе дизеля на КПГ при возрастающей температуре в цилиндре дизеля связано с температурной неравномерностью в зоне продуктов сгорания, а также с тем, что время нахождения продуктов сгорания в зоне максимальных температур снижается вследствие интенсификации процесса сгорания. При совместном использовании наддува и ПОНВ увеличивается скорость охлаждения продуктов сгорания, так как топливовоздушная смесь, поступающая в цилиндр, имеет более низкую температуру, снижается коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  [8–17].

Содержание  $CH_x$  в ОГ дизеля с увеличением установочного УОВТ в целом снижается, как при работе дизеля на дизельном топливе (ДТ), так и на КПГ, но при работе дизеля на КПГ содержание  $CH_x$  в ОГ в 10..20 раз выше по сравнению с работой на ДТ. Дымность ОГ при работе дизеля на ДТ с увеличением установочного УОВТ снижается. При работе дизеля на КПГ дымность ОГ практически не зависит от установочного УОВТ и ниже по сравнению с работой на ДТ при том же установочном УОВТ. Это объясняется высокой турбулизацией заряда, приводящей

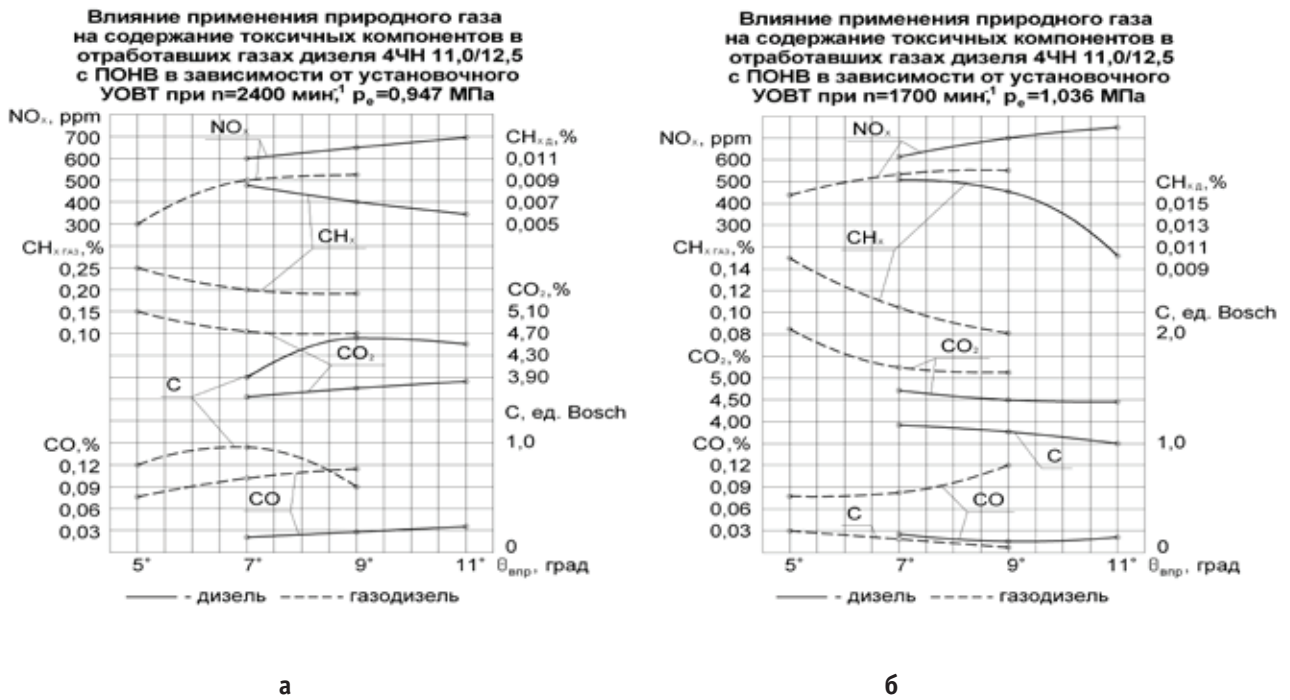


Рис. 1. Влияние применения КПГ на содержание токсичных компонентов ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ: а —  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ ; б —  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 1,036 \text{ МПа}$ ; — — — дизельный процесс, — — — газодизельный процесс

к интенсификации процессов выгорания сажевых частиц в цилиндре при работе дизеля на КПГ. Содержание СО в ОГ с увеличением установочного УОВТ возрастает как при работе дизеля на ДТ, так и при работе на КПГ.

Закономерности изменения содержания токсичных компонентов с увеличением установочного УОВТ на режиме максимального крутящего момента (рис. 1, б) аналогичны закономерностям изменения содержания токсичных компонентов на режиме номинальной частоты вращения [18–20].

По показателям содержания оксидов азота и показателям процесса сгорания, с учетом эффективных показателей был принят оптимальный установочный УОВТ  $\theta_{впр} = 7^\circ$  до верхней мертвой точки (ВМТ) для работы на КПГ и  $\theta_{впр} = 9^\circ$  до ВМТ для работы на ДТ.

Сравнивая оптимальные установочные УОВТ (оптимальный установочный УОВТ  $\theta_{впр} = 7^\circ$  до ВМТ для работы на КПГ и  $\theta_{впр} = 9^\circ$  до ВМТ для работы на ДТ), следует отметить, что при  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$  при работе КПГ содержание СО в ОГ составляет 0,10%. При работе дизеля на ДТ — 0,029%. Разница равна 0,071%. Содержание  $\text{CO}_2$  в ОГ при работе дизеля на данном режиме на ПГ составляет 4,72%, при работе дизеля на ДТ — 3,75%. Разница составляет 0,97%. Содержание  $\text{CH}_x$  в ОГ при работе дизеля на КПГ составляет 0,20%, при работе дизеля на ДТ — 0,016%. Разница составляет 0,184%. Содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе дизеля на КПГ составляет 499 ppm, при работе дизеля на ДТ — 650 ppm. Таким образом, снижение содержания оксидов азота при работе дизеля на КПГ на установочном

УОВТ  $\theta_{впр} = 9^\circ$  до в.м.т.,  $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,947 \text{ МПа}$  составляет 151 ppm или 23%. Дымность ОГ при работе дизеля на данном режиме на КПГ составляет 0,95 единицы по шкале Bosch, при работе дизеля на ДТ — 1,95 единицы по шкале Bosch, т.е. снижение дымности при работе дизеля на данном режиме на ПГ составляет 51%. При работе дизеля на КПГ скорость выгорания сажи в цилиндре значительно выше, соответственно и ее концентрация в цилиндре к моменту открытия выпускного клапана становится существенно ниже, чем при работе дизеля на ДТ [21–24].

Таким образом, установочный УОВТ оказывает значительное влияние на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ как при работе дизеля на ДТ, так и при работе дизеля на КПГ. Поэтому с точки зрения снижения содержания оксидов азота необходимо уменьшать значение установочного УОВТ. Для снижения дымности ОГ необходимо увеличивать значение установочного УОВТ, но при этом необходимо учитывать значения показателей процесса сгорания и, прежде всего, «жесткости» процесса сгорания. Подводя итоги полученных результатов, можно оценить влияние применения КПГ в качестве моторного топлива в дизеле 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ на экологические показатели работы дизеля. Можно отметить, что совместное использование КПГ и турбонаддува с ПОНВ позволяет значительно снизить содержание оксидов азота в ОГ, дымность ОГ и тем самым улучшить экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ.



## Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Скрябин М. Л. Исследование процессов образования и разложения оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха при работе на природном газе: Монография / Под общей редакцией В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2008. — 150 с.
2. 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.
3. Лопатин, О. П. Применение природного газа и рециркуляции отработавших газов для снижения токсичности тракторного дизеля // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 11–13.
4. Лопатин, О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в отработавших газах тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 6–5 (86). с. 13–15.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 24–26.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
7. Лопатин, О. П. Химизм процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 28–30.
8. 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.
9. 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.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. с. 6–7.
11. Лопатин, О. П., Лиханов В. А. 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.
12. Лопатин, О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 (Д-240) при работе на природном газе путем применения рециркуляции отработавших газов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2004. — 18 с.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
14. 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.
15. RU 2260706 С1, 20.09.2005.
16. 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.
17. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением надувочного воздуха // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 2. с. 6–7.
18. 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.
19. 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.
20. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Олейник М. А., Дубиневский 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.
21. RU 2257482 С2, 27.07.2005.
22. Лопатин, О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 (Д-240) при работе на природном газе путем применения рециркуляции отработавших газов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Киров, 2004. — 200 с.
23. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2004. — 106 с.

24. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.

## Исследование влияния высоковольтного разряда на подачу электрогидродинамического насоса высокого давления топливной системы дизеля

Сокоиков Вячеслав Капитонович, доктор технических наук, профессор;  
Строков Павел Игоревич, старший преподаватель  
Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

*В статье рассматривается влияние высоковольтного электрического сигнала, подаваемого на электроды насоса высокого давления топливной системы дизеля, на расход, поступающий в цилиндры двигателя из гидроаккумулятора давления. Установлены основные зависимости, показывающие, что рост высоковольтного напряжения приводит к повышению давления в аккумуляторе и расходу в цилиндры двигателя.*

**Ключевые слова:** электрогидродинамический насос, двигатель, электроды, расход, аккумулятор.

*This article presents the effect of a high-voltage electric signal, sent to electrodes of a high-pressure pump of the engine fuel system, on the consumption supplied to the engine cylinders from the pressure accumulator. The main dependences determined show that a high voltage increase leads to the accumulator pressure increase as well as to the engine cylinders consumption.*

**Key words:** electrohydrodynamic pump, engine, electrodes, consumption, accumulator.

В статье рассматривается насос высокого давления для топливной системы дизеля, способной создавать давление 100–150 МПа, однако схема может быть использована в системах с другой рабочей жидкостью, где требуется для работы высокое давление.

Схема топливной системы дизеля с электрогидродинамическим насосом (ЭГДН) представлена на рис.1. Основной особенностью насоса является то, что для создания давления и подачи топлива необходима подача высокого электрического напряжения (до 80 кВ) между электродами, расположенными внутри насоса.

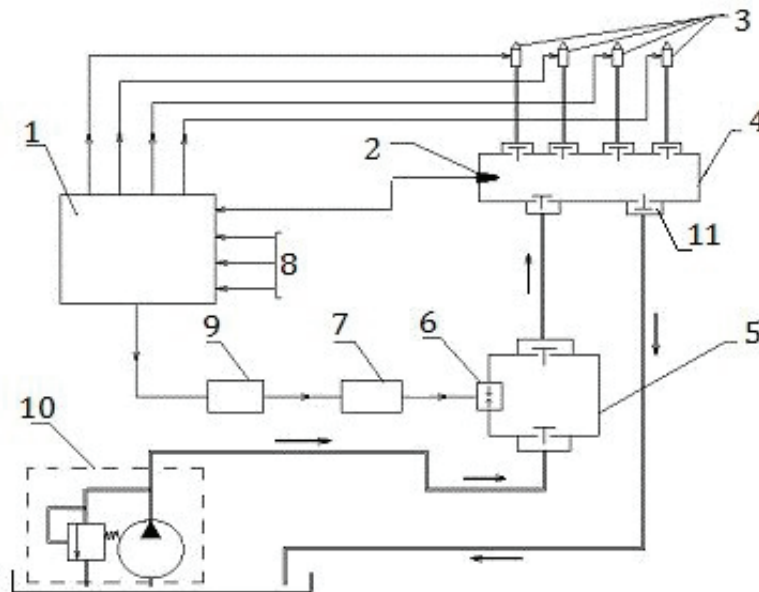


Рис. 1. Принципиальная схема аккумуляторной топливной системы дизеля

На рис.1 обозначено: 1 — электронный блок управления; 2 — датчик давления гидроаккумулятора; 3 — электрогидравлические форсунки двигателя; 4 — гидроаккумулятор; 5 — электрогидродинамический насос высокого давления; 6 — высоковольтные электроды; 7 — блок повышения напряжения; 8 — информация от датчиков системы; 9 — блок задания частоты (или транзисторный коммутатор); 10 — система подпитки с насосом и переливным гидроклапаном; 11 — электрогидравлический клапан.

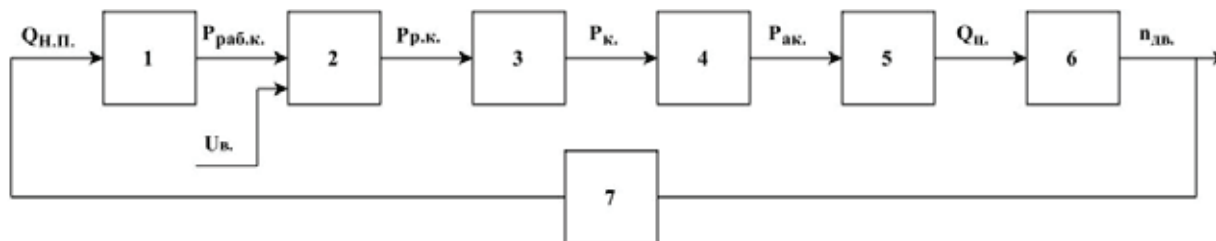


Рис. 2. Функциональная схема электрогидравлического насоса

На рис.2 обозначено: 1 — объем рабочей камеры насоса  $V_{р.кн.}$ ; 2 — камера разряда с двумя электродами; 3 — гидравлические потери при движении паротопливной смеси по рабочей камере насоса до обратного гидроклапана; 4 — расход паротопливной смеси через гидроклапан  $Q_{ак.}$ ; 5 — релаксация паротопливной смеси и расход топлива через форсунки двигателя; 6 — механизмы двигателя, включая цилиндры двигателя; 7 — обратная связь в виде привода к насосу подпитки.

На рис.2 принято:  $Q_{н.п.}$  — подача насоса подпитки;  $P_{раб.к.}$  — давление в рабочей камере до электрического разряда;  $P_{р.к.}$  — давление в рабочей камере после электрического пробоя между электродами;  $P_{к.}$  — давление перед гидроклапаном;  $P_{ак.}$  — давление паротопливной смеси за гидроклапаном в гидроаккумуляторе, измеряемое электрогидравлическим датчиком давления 2, рис.1;  $Q_{ак.}$  — расход паротопливной смеси через обратный гидроклапан насоса в гидроаккумулятор;  $Q_{ц.}$  — расход топлива, поступающий в цилиндры двигателя после релаксации паротопливной смеси;  $n_{дв.}$  — обороты коленчатого вала двигателя;  $U_{в.}$  — высокое напряжение, подаваемое на электроды рабочей камеры насоса.

Работа насоса заключается в следующем. Высокое напряжение (20–80 кВ) подается на электроды насоса. Между электродами возникает плазменная электрическая дуга, вокруг которой происходит нагрев и испарение топлива, что приводит к созданию паротопливной смеси с высоким давлением до 150 Мпа. Ударная волна высокого давления и весь поток паротопливной смеси расширяются от электродов с большой скоростью, открывают напорный гидроклапан и паротопливная смесь поступает в гидроаккумулятор. В гидроаккумуляторе происходит релаксация этой смеси и она

В работах [1], [2] и [4] представлены результаты исследований физических процессов, происходящих в насосе при изменении выходных параметров электрического блока управления. Вместе с тем, создаваемое давление и подача насоса существенно зависят от подаваемого электрического напряжения и его частоты.

На рис.2 приведена упрощенная функциональная схема электрогидродинамического насоса, из которой можно судить о взаимосвязях отдельных элементов на подачу насоса и создаваемое давление.

«превращается» в топливо, которое через электрогидравлические форсунки поступает в цилиндры двигателя. Вместе с тем, если паротопливная смесь не успела релаксироваться, то в виде подготовленной к сгоранию смеси (или вместе с топливом), направляется в цилиндры двигателя. Освободившееся пространство в рабочей камере насоса после подачи заполняется топливом из системы подпитки.

Система подпитки механически не связана с коленчатым валом двигателя, поэтому подача электрогидродинамического насоса не зависит от оборотов двигателя и определяется либо блоком управления, либо оператором.

Процесс повышения давления в камере разряда достаточно сложный [3], он зависит от частоты подачи электрических импульсов, зазоров между электродами, формы электродов и т.д., но в первом приближении при определенном зазоре между электродами его можно представить в виде следующего графика, рис.4. Там же показано влияние частоты подачи электрических импульсов  $f$ .

На рис.3 предполагается, что частота подаваемого напряжения  $f_1 > f_2 > f_3 > f_4$ . Рисунок показывает, что рост напряжения и частоты электрического сигнала приводят к повышению давления в камере разряда  $P_{р.к.}$ .

Для увеличения давления в гидроаккумуляторе потери в обратном гидроклапане насоса стараются сделать минимальными, в частности за счёт уменьшения массы его подвижных элементов и увеличения проходных сечений. Пренебрегая гидравлическими потерями в обратном гидроклапане можно использовать уравнение расхода [6] через гидроклапан в гидроаккумулятор в виде:

$$Q_{ак.} = \mu \cdot S_{кп} \sqrt{\frac{2}{\rho} [F(f)U_{в.} - P_{ак.}]} \quad (1)$$

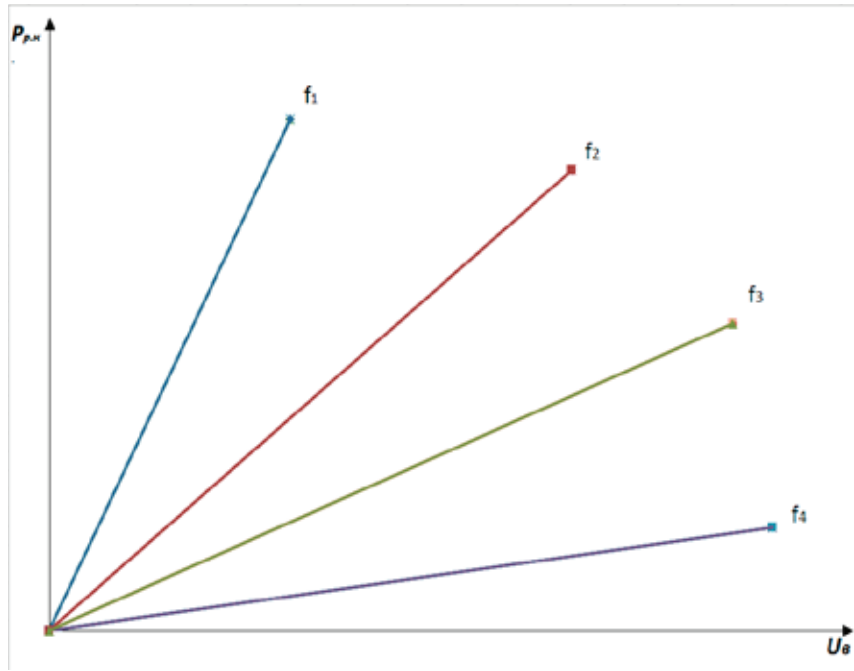


Рис. 3. Изменение давления в камере разряда  $P_{p.k.}$  в функции подаваемого высокого напряжения  $U_B$

где обозначено:  $Q_{ак}$  – расход паротопливной смеси через обратный гидроклапан в гидроаккумулятор,  $\mu$  — коэффициент расхода в гидроклапане,  $S_{кл}$  — площадь открытия гидроклапана.

В результате релаксации паротопливной смеси давление в гидроаккумуляторе уменьшается, но оно вновь возрастает в результате последующих подач насоса до значения, заданного электрогидравлическим клапаном 11 (рис.1) и конструкцией двигателя. Поэтому количество паротопливной смеси, поступающей из электрогидро-

намического насоса в гидроаккумулятор и последующей релаксации равно

$$Q_{ак} = \sum_1^n \mu \cdot S_{кл} \sqrt{\frac{2}{\rho} [F(f)U_B - P_{ак}]} \tag{2}$$

где  $n$  — количество подач электрогидродинамического насоса в гидроаккумулятор в секунду.

На основании уравнения (2) представим график подачи топлива в гидроаккумуляторе в функции подаваемого электрического напряжения на электроды камеры

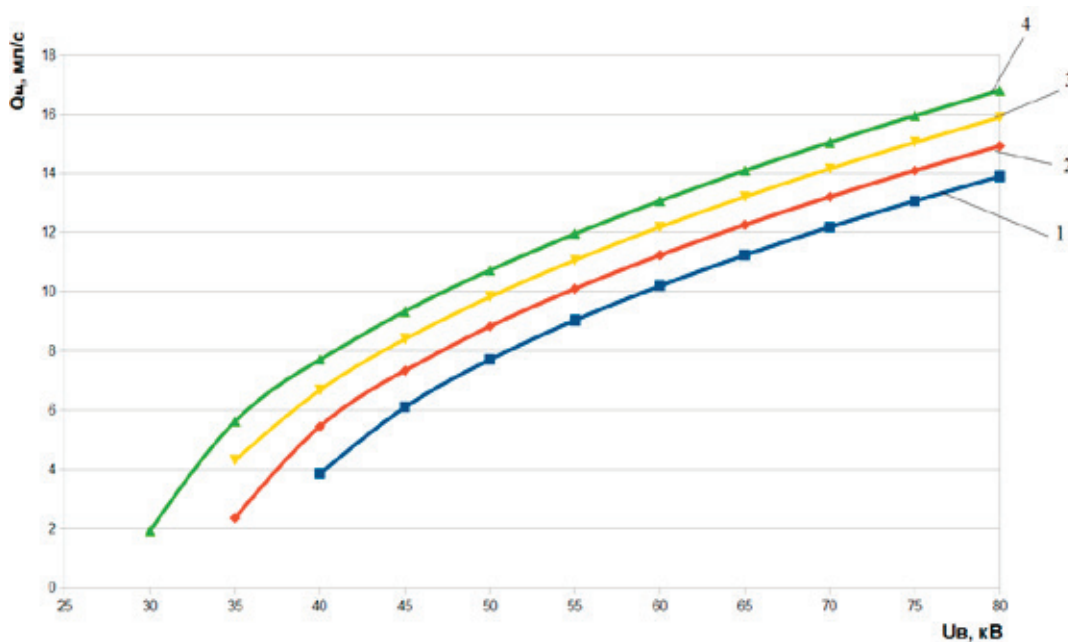


Рис. 4. Зависимость расхода, поступающего в цилиндры двигателя, в функции высоковольтного напряжения  $U_B$

разряда при  $n=2$ , при условии  $Q_{ак} = Q_y$ , где  $Q_y$  — расход поступающий в цилиндры двигателя.

На рис.4 обозначено:

– кривая 1 соответствует  $F(f) = 3 \cdot 10^3 \frac{\text{Па}}{B}$ ,

– кривая 2 –  $F(f) = 3,25 \cdot 10^3 \frac{\text{Па}}{B}$ ,

– кривая 3 –  $F(f) = 3,5 \cdot 10^3 \frac{\text{Па}}{B}$ ,

– кривая 4 –  $F(f) = 3,75 \cdot 10^3 \frac{\text{Па}}{B}$ ,

Расчеты проводились для следующих параметров:

$$\mu = 0,7; S_{кл} = 3,14 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2; \rho = 850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; p_{ак} = 1,1 \cdot 10^8 \text{ Па}.$$

Литература:

1. Соковиков, В.К., Строков П.И. и др. Беспрецизионный электрогидродинамический ТНВД. Автомобильная промышленность № 3, 2005.
2. Соковиков, В.К., Строков П.И., Голубев Д.С. Практическое применение электрогидродинамического насоса. Тракторы и сельхозмашины № 3, 2009.
3. Наугольных, К.А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде (гидродинамическое описание). — М.: Наука, 1971, 155с.
4. Топливный насос нового поколения/Ю. В. Максимов, В.К. Соковиков, А.А. Бекаев, П.И. Строков//Изв. МГТУ «МАМИ». 2012. № 2 (14). Т. 2. с. 241–245.
5. Соковиков, В.К., Бекаев А.А., Строков П.И. Электрогидродинамический двигатель//Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 3 (33). с. 26–30.
6. Лепешкин, А.В., Михайлин А.А. Под ред. Беленкова Ю.А. Гидравлические и пневматические системы. 6-ое издание. Учебник. — М.: изд. «Академия», 2011. 336 с.

Из рис.4 следует, что при увеличении напряжения и давления в рабочей камере насоса существенно возрастает расход, поступающий в цилиндры двигателя. Так, при изменении напряжения между электродами от 40 до 70 кВ при давлении в гидроаккумуляторе  $1,1 \cdot 10^8 \text{ Па}$  и

$F(f) = 3 \cdot 10^3 \frac{\text{Па}}{B}$  расход из аккумулятора возрастает

с 3,9 мл/с до 12,25 мл/с.

Таким образом, в статье представлены результаты расчетов влияния напряжения в камере разряда на расход топлива в цилиндры двигателя. Увеличение напряжения в камере разряда приводит к росту давления в гидроаккумуляторе и расходу в цилиндры двигателя. Такое же влияние и частоты подачи импульсов. Топливная система дизеля с электрогидродинамическим насосом может обеспечить различные режимы работы двигателя при сокращении расхода топлива на транспортном средстве.

## Приближенное вычисление спектральной плотности по типовым корреляционным функциям

Сухов Ярослав Игоревич, студент;

Гарькина Ирина Александровна, доктор технических наук, профессор

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Наиболее простым инженерным способом аппроксимации корреляционных функций, позволяющим найти приближенное аналитическое выражение спектральной плотности, является метод треугольных корреляционных функций. Здесь корреляционная функция представляется в виде кусочно-линейной функции (алгебраическая сумма типовых треугольных корреляционных функций; при  $\tau \geq 0$  имеют вид, приводимый на рис.1).

Каждая типовая корреляционная функций определяется двумя параметрами —  $R_0 = R(0)$  и  $T_0$ . Непосредственно из рисунка следует:

$$R_0(\tau) = \begin{cases} R_0 \left(1 - \frac{\tau}{T_0}\right) & 0 \leq \tau \leq T_0 \\ 0, & \tau \geq T_0. \end{cases}$$

Отметим,  $R_0(-\tau) = R_0(\tau)$ . Каждой типовой треугольной корреляционной функции  $R_0(\tau)$  соответствует спектральная плотность

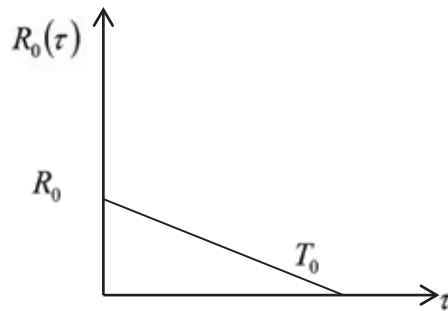


Рис.1. Треугольная корреляционная функция

$$S_0(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_0(\tau)e^{-j\omega\tau} d\tau = R_0T_0 \left( \frac{\sin \frac{\omega T_0}{2}}{\frac{\omega T_0}{2}} \right)^2.$$

Введя  $\xi(\lambda) = \left( \frac{\sin \frac{\lambda}{2}}{\frac{\lambda}{2}} \right)^2$ , получим  $S_0(\omega) = R_0T_0\xi(\omega T_0)$ ; график функции  $\xi(\lambda)$  на рис.2.

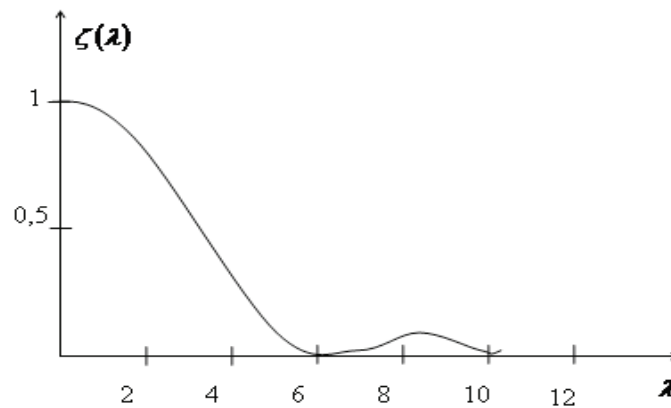


Рис. 2. Вид  $\xi(\lambda)$

Если  $R_{xx}(\tau)$  с достаточной степенью точности аппроксимируется алгебраической суммой  $n$  типовых треугольных корреляционных функций  $R_{xx}(\tau) = \sum_{i=1}^n R_{0i}(\tau)$ , то:

$$S_{xx}(\omega) \approx \sum_{i=1}^n R_{0i}T_{0i} \left( \frac{\sin \frac{\omega T_{0i}}{2}}{\frac{\omega T_{0i}}{2}} \right)^2 = \sum_{i=1}^n R_{0i}T_{0i}\xi(\omega T_{0i}).$$

Точность определения спектральной плотности тем выше, чем меньше расхождение между корреляционными функциями: действительной и результирующей аппроксимированной. При этом несоответствие в значениях функции для малых  $\tau$  будет преимущественно вызывать отклонение в значениях спектральной плотности для больших  $\omega$ .

Взаимная спектральная плотность  $S_{xy}(\omega)$  в общем случае является комплексной величиной:

$$S_{xy}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau)e^{-j\omega\tau} d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau)\cos \omega\tau d\tau - j \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau)\sin \omega\tau d\tau = P_{xy}(\omega) + jQ_{xy}(\omega);$$

$$P_{xy}(\omega) = \int_0^{\infty} (R_{xy}(-\tau) + R_{xy}(\tau)) \cos \omega \tau d\tau, \quad Q_{xy}(\omega) = \int_0^{\infty} (R_{xy}(-\tau) - R_{xy}(\tau)) \sin \omega \tau d\tau$$

( $P_{xy}(\omega)$  - четная функция, а  $Q_{xy}(\omega)$  — нечетная).

Введя  $R_+(\tau) = \frac{1}{2}(R_{xy}(-\tau) + R_{xy}(\tau))$ ,  $R_-(\tau) = \frac{1}{2}(R_{xy}(-\tau) - R_{xy}(\tau))$

( $R_+(\tau) = R_+(-\tau)$ ,  $R_-(\tau) = -R_-(-\tau)$ ,  $R_+(0) = R_{xy}(0)$ ,  $R_-(0) = 0$ ,  $R_{xy}(-\tau) = R_{yx}(\tau)$ ),

получим

$$P_{xy}(\omega) = 2 \int_0^{\infty} R_+(\tau) \cos \omega \tau d\tau, \quad Q_{xy}(\omega) = 2 \int_0^{\infty} R_-(\tau) \sin \omega \tau d\tau. \tag{1}$$

В силу четности  $R_+(\tau)$  ее можно рассматривать как некоторую корреляционную функцию. Сравнивая далее выражение (1) для  $P_{xy}(\omega)$  с формулой

$$S_{xx}(\omega) = 2 \int_0^{\infty} R_{xx}(\tau) \cos \omega \tau d\tau,$$

видим, что они по форме совпадают. Следовательно, для вычисления  $P_{xy}(\omega)$  по  $R_{xy}(\tau)$  можно воспользоваться одним из методов приближенного вычисления спектральной плотности, которые рассмотрели ранее.

Рассмотрим методы приближенного вычисления мнимой части взаимной спектральной плотности (аппроксимация корреляционной функции  $R_-(\tau)$  типовыми корреляционными функциями): метод типовых треугольных и метод типовых экспоненциальных корреляционных функций.

Сначала рассмотрим метод типовых треугольных корреляционных функций. Наиболее удобно и просто  $R_-(\tau)$  аппроксимировать кусочно-линейной функцией. Тогда в качестве типовых корреляционных функций могут быть взяты треугольные корреляционные функции. При этом функция  $R_-(\tau)$  приближенно представляется в виде алгебраической суммы какого-либо числа типовых треугольных корреляционных функций. Мнимая часть  $Q_{xy}(\omega)$  взаимной спектральной плотности будет также приближенно представляться в виде алгебраической суммы функций от  $\omega$ , соответствующих типовым треугольным функциям.

Если, как и ранее типовую треугольную функцию обозначить  $R_0(\tau)$ , то:

$$R_0(\tau) = \begin{cases} R_0 \left( 1 - \frac{\tau}{T_0} \right) & 0 \leq \tau \leq T_0 \\ 0, & \tau \geq T_0 \end{cases}$$

введя функцию  $Q_0(\omega)$ , определяемую формулой, аналогичной (1), получим:

$$Q_0(\omega) = 2 \int_0^{\infty} R_0(\tau) \sin \omega \tau d\tau = 2R_0T_0 \frac{\omega T_0 - \sin \omega T_0}{(\omega T_0)^2} = R_0T_0 h(\omega T_0), \quad h(\lambda) = 2 \frac{\lambda - \sin \lambda}{\lambda^2} \text{ (рис.3)}$$

Если  $R_-(\tau) = \sum_{i=1}^n R_{0i}(\tau)$ , то  $Q_{xy}(\omega) = \sum_{i=1}^n Q_{0i}(\omega) = 2 \sum_{i=1}^n R_{0i}T_{0i} \frac{\omega T_{0i} - \sin \omega T_{0i}}{(\omega T_{0i})^2} = R_{0i}T_{0i} h(\omega T_{0i})$ .

Метод экспоненциальных корреляционных функций аналогичен методу типовых экспоненциальных корреляционных функций, использованному для аппроксимации корреляционных функций. Для положительных  $\tau$  функция  $R_-(\tau)$  представляется в виде суммы типовых экспоненциальных корреляционных функций

$$R_-(\tau) \approx \sum_{k=1}^n A_k e^{-kc|\tau|} = \sum_{k=1}^n A_k e^{-kc\tau},$$

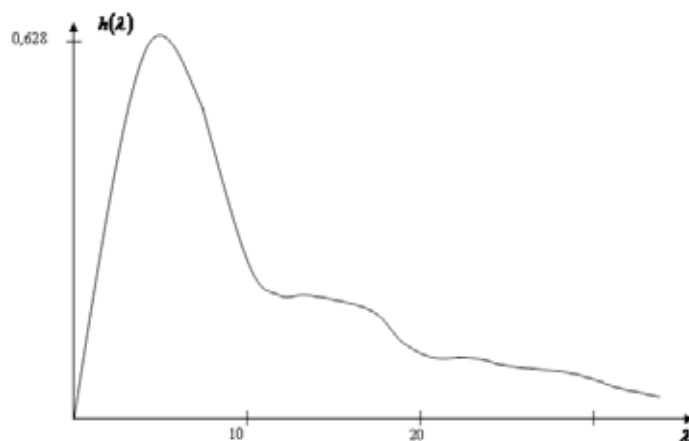
где  $A_k$  — некоторые коэффициенты,  $c > 0$ ;  $k, n$  — целые числа.

Заметим, что, так как  $R_-(0) = 0$ , то  $\sum_{k=1}^n A_k \approx 0$ . Все формулы, полученные ранее для вычисления  $A_k$ , остаются в силе.

Получим:

$$Q_{xy}(\omega) \approx 2 \int_0^{\infty} \sum_{k=1}^n A_k e^{-kc\tau} \sin \omega \tau d\tau = 2 \sum_{k=1}^n A_k \int_0^{\infty} e^{-kc\tau} \sin \omega \tau d\tau; \quad Q_{xy}(\omega) \approx 2 \sum_{k=1}^n A_k \frac{\omega}{c^2 k^2 + \omega^2}.$$

В силу того, что полученная таким образом  $Q_{xy}(\omega)$  есть нечетная функция, то эта формула пригодна для вычисления  $Q_{xy}(\omega)$  при  $\omega < 0$ .

Рис.3. Вид  $h(\lambda)$ 

Приведенные методы эффективно использовались при составлении когнитивной карты формирования управляющих воздействий оператора в зависимости от параметров объекта управления [1...3].

Литература:

1. E. Budylna, A. Danilov, I. Garkina. Control of multiobjective complex systems / Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, 2015, no. 10, 441–445. <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5276>.
2. Гарькина И.А., Данилов А. М., Пылайкин С. А. Транспортные эргатические системы: информационные модели и управление / Мир транспорта и технологических машин. — № 1 (40). — 2013. — С.115–122.
3. Данилов, А. М., Гарькина И. А., Гарькин И. Н. Спектральные методы при анализе динамических систем // Региональная архитектура и строительство. — 2014. — № 3. — с. 109–113.

## Создание основы САПР и базы знания процесса проектирования инструмента для обработки канавок

Тимофеева Анна Александровна, магистрант  
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

*Статья посвящена созданию основы САПР и базы знания процесса проектирования специального инструмента, а также исследованию функциональных связей между параметрами конструкции, эксплуатационными показателями и условиями эксплуатации данного инструмента, предназначенного для обработки канавок в глубоких отверстиях.*

**Ключевые слова:** канавка, глубокое отверстие, канавочный резец, матрица инцидентий, функциональные связи.

Проанализировав большое количества литературных источников удалось определить внутренние функциональные связи между факторами процесса формообразования и внешние — между факторами и показателями [1–16]. Проведенные аналитические исследования позволили сформировать схему взаимосвязей основных факторов и показателей процесса формообразования канавок в глубоких отверстиях канавочным резцом (рис. 1).

При обработке канавок в глубоких отверстиях канавочным резцом происходит износ инструмента — затупление. Во избежание этого будут подобраны оптимальные режимы резания: скорость резания, подача, глубина резания; будет подобран материал инструмента, это будет зависеть от обрабатываемого материала.

Таким образом, повышение эксплуатационных показателей канавочного резца заключается в следующем: нужно выявить зависимость эксплуатационных показателей от таких параметров как условия эксплуатации и параметры конструкции, исследовать эти зависимости и найти решение для каждого эксплуатационного показателя.



Наиболее существенным, для оценки степени формализации процесса, является объем и уровень исследованных и установленных функциональных связей, как между факторами, так между факторами и показателями процесса формообразования канавок в глубоких отверстиях канавочным резцом.

Для анализа и последующего использования при создании и базы знаний процесса формообразования, а также для создания на ее основе САПР инструмента, основные функциональные связи между факторами процесса формообразования можно представить в виде матрицы МФ вида:

$$M\Phi = \begin{pmatrix} A_1^1 & A_2^1 & A_3^1 & A_4^1 & A_5^1 & A_6^1 & A_7^1 & A_8^1 & A_9^1 & A_{10}^1 \\ A_1^2 & A_2^2 & A_3^2 & A_4^2 & A_5^2 & A_6^2 & A_7^2 & A_8^2 & A_9^2 & A_{10}^2 \\ A_1^3 & A_2^3 & A_3^3 & A_4^3 & A_5^3 & A_6^3 & A_7^3 & A_8^3 & A_9^3 & A_{10}^3 \\ A_1^4 & A_2^4 & A_3^4 & A_4^4 & A_5^4 & A_6^4 & A_7^4 & A_8^4 & A_9^4 & A_{10}^4 \\ A_1^5 & A_2^5 & A_3^5 & A_4^5 & A_5^5 & A_6^5 & A_7^5 & A_8^5 & A_9^5 & A_{10}^5 \end{pmatrix} \begin{matrix} f_{11} \\ f_{12} \\ f_{13} \\ f_{14} \\ f_{15} \end{matrix}$$

$A_i$  — элемент матрицы, представляющий собой многомерную матрицу, включающую: совокупность функциональных зависимостей, табличных данных, неформализованных сведений и рекомендаций, связывающих между собой рассматриваемые факторы процесса формообразования.

Аналогичным образом может быть сформирована матрица МФП функциональных связей между факторами и показателями процесса формообразования отверстия, т.е. матрица связи конструкции, условий эксплуатации и показателей эксплуатации.

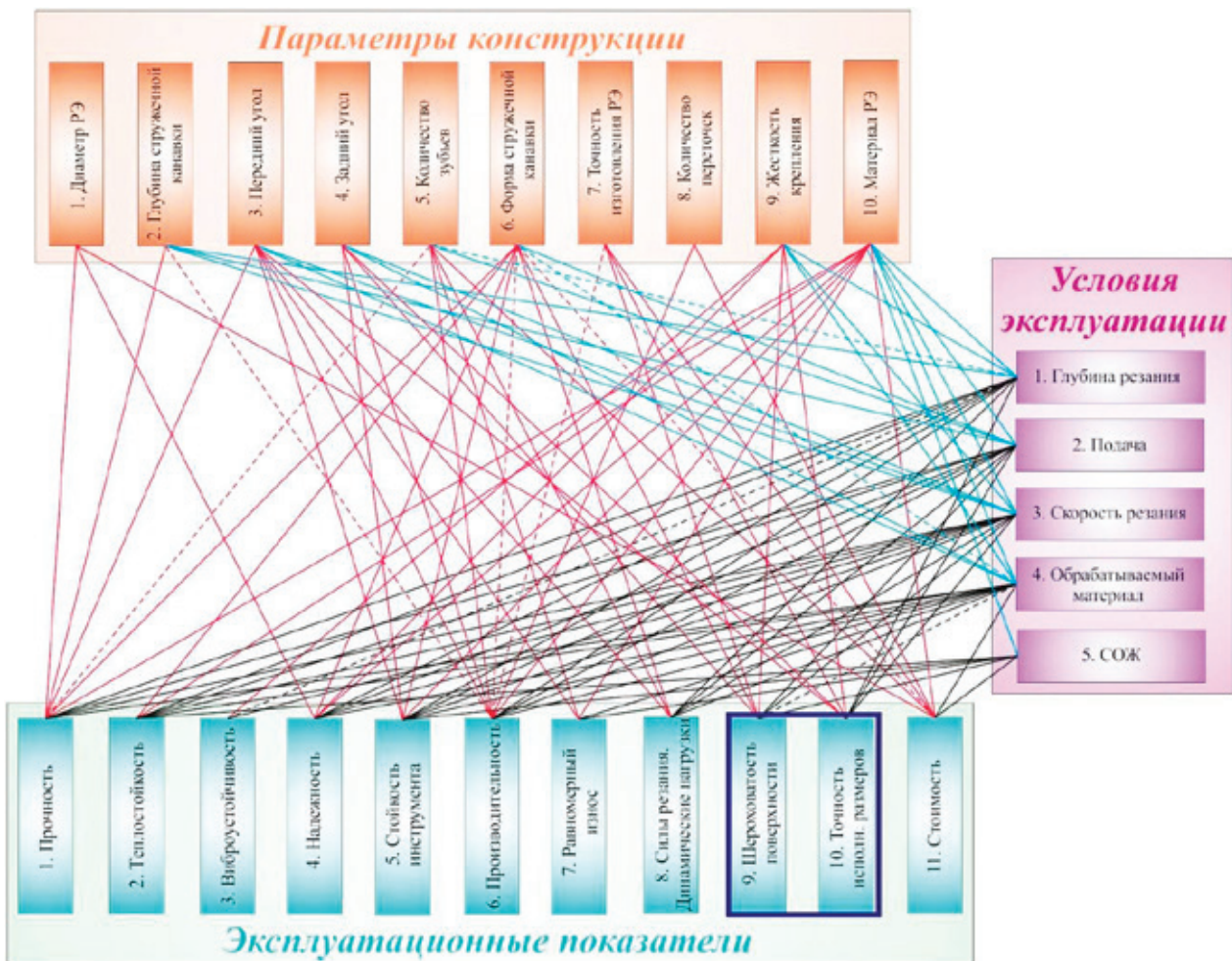


Рис. 1 Схема основных факторов и показателей процесса формообразования канавок в глубоких отверстиях канавочным резцом

Приведенные матрицы представляют собой основу построения базы знаний процесса формообразования канавок в глубоком отверстии канавочным резцом. Они могут использоваться в качестве интерфейса системы формирования и управления базой знаний процесса формообразования. Номер строки и столбца каждого элемента этой системы, не равного нулю, можно рассматривать как адрес ячейки системы управления базой данных. Так, при формировании САПР инструмента главными исходными данными будет являться система показателей, которой должен будет удовлетворять процесс формообразования. В свою очередь система показателей определит состав факторов и функциональные связи с ними.

Схема функциональных связей представляет собой граф, который может быть описан n-мерной матрицей инцидентий. С целью наглядного изображения была построена двухмерная матрица инцидентий связей между параметрами конструкции инструмента и показателями процесса формообразования (рис.2а) (МФП), а также матрица инцидентий связей между параметрами конструкции и условиями эксплуатации (рис. 2б) (МФ). Элементы матрицы обозначены цифрой 1 в случае, когда связь формализована, и 0 когда связи нет или не установлена.

Матрицы инцидентий представлены в виде пульта графического интерфейса управления базой данных процесса формообразования. Элементы матрицы представлены в виде клавиш трех цветов, содержание которых определяется степенью формализации функциональных связей.

Использование данного представления матриц позволит в значительной степени формализовать процесс создания САПР инструмента. Кроме того, приведенная система позволяет оценить степень формализации и качество используемых функциональных связей. Благодаря этому можно сделать обоснованный выбор состава факторов и функциональных связей между факторами и показателями, исходя из конкретных условий формообразования.

Матрицы инцидентий могут также служить ориентиром в направлении развития исследований процесса формообразования. При этом сами матрицы связей МФ и МФП, по мере накопления знаний, будут претерпевать изменения как по составу факторов и показателей, так и по глубине формализации связей между ними.

НИР поддерживается Федеральным государственным бюджетным учреждением «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере».

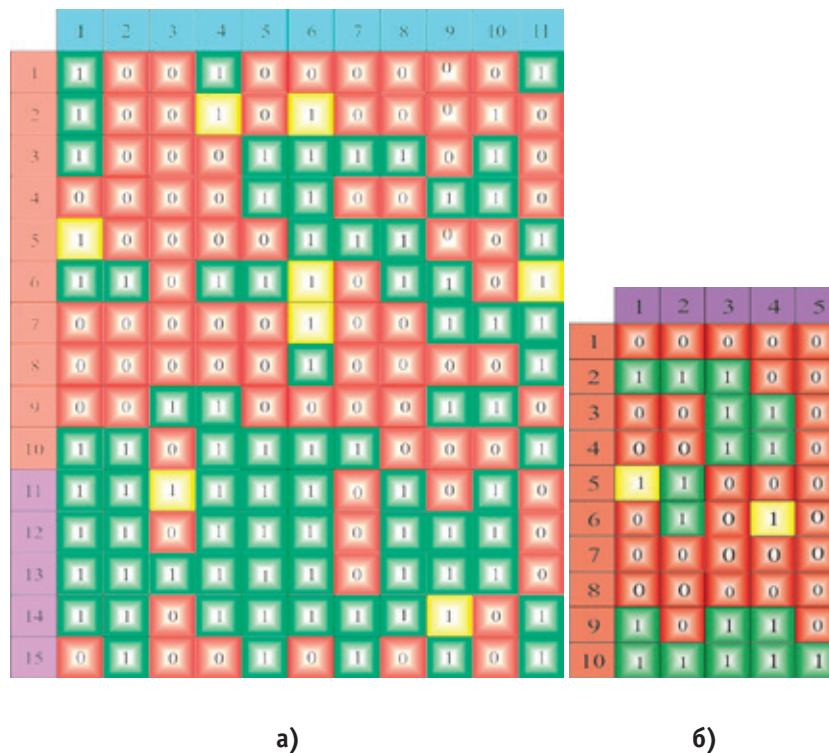


Рис. 2. Матрицы функциональных связей: **1** — полная формализация связи между факторами и показателями; **1** — эмперическая связь между факторами и показателями; **0** — формализация связи между факторами и показателями отсутствует

Литература:

1. Петухов, Ю. Е. Формообразование численными методами / Ю. Е. Петухов. — М.: «Янус-К», 2004. — 200 с.
2. Гречишников, В. А. Математическое моделирование в инструментальном производстве / В. А. Гречишников, Н. В. Колесов, Ю. Е. Петухов. — М.: МГТУ «СТАНКИН». УМО АМ, 2003. — 116 с.

3. Петухов, Ю.Е. Способ формообразования фасонной винтовой поверхности стандартным инструментом прямого профиля / Ю.Е. Петухов, П.В. Домнин // Вестник МГТУ «СТАНКИН». — 2011. — № 3. — с. 102–106.
4. Колесов, Н.В. Система контроля сложных кромок режущих инструментов / Н.В. Колесов, Ю.Е. Петухов // ИТО: Инструмент. Технология. Оборудование. — 2003. — № 2. — с. 42–45.
5. Колесов, Н.В. Два типа компьютерных моделей режущего инструмента / Н.В. Колесов, Ю.Е. Петухов // СТИН. — 2007. — № 8. — с. 23–26.
6. Петухов, Ю.Е. Некоторые направления развития САПР режущего инструмента / Ю.Е. Петухов // СТИН. — 2003. — № 8. — с. 26–30.
7. Петухов, Ю.Е., Водовозов А.А. Затачивание по передней поверхности спиральных сверл с криволинейными режущими кромками. Вестник МГТУ Станкин. 2014. № 1 (28). с. 39–43.
8. Артюхин, Л.Л., Балыков А.В., Гречишников В.А., Домнин П.В., Колесов Н.В., Косарев В.А., Петухов Ю.Е., Романов В.Б., Седов Б.Е., Тарасов А.В., Щербаков В.Н., Юрин С.В. Процессы формообразования и САПР металлорежущего инструмента. Учебное пособие / Под общей редакцией В.А. Гречишникова/ Москва, 2010. 356 с.
9. Гречишников, В.А., Домнин П.В., Косарев В.А., Петухов Ю.Е., Романов В.Б., Седов Б.Е. Современные методы решения задач формообразования сложного режущего инструмента. СТИН. 2013. № 12. с. 6–11.
10. Petukhov, Y. E., Domnin P. V. Shaping precision in machining a screw surface // Russian Engineering Research. 2011. vol. 31. № 10. pp. 1013–1015.
11. Kolesov, N. V., Petukhov Yu. E. Computer models of cutting tools // Russian Engineering Research. 2007. vol. 27. № 11. pp. 812–814.
12. Petukhov Yu. E., Movsesyan A. V. Determining the shape of the back surface of disc milling cutter for machining a contoured surface // Russian Engineering Research. 2007. vol. 27. № 8. pp. 519–521.
13. Petukhov Yu. E., Vodovozov. A. A. Curvilinear cutting edge of a helical bit with uniform life // Russian Engineering Research. 2014. vol. 34. № 10. pp. 645–648.
14. Домнин, П.В., Тимофеева А.А. Разработка основы САПР канавочного резца путем исследования функциональных связей между параметрами конструкции, эксплуатационными показателями и условиями эксплуатации // Современная техника и технологии. 2015. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2015/01/5487> (дата обращения: 27.01.2015).
15. Петухов, Ю.Е., Домнин П.В., Тимофеева А.А. Формирование базы знаний процесса проектирования инструмента для обработки канавок в глубоких отверстиях. Научная жизнь. 2014. № 5. с. 21–29.
16. Петухов, Ю.Е., Домнин П.В., Тимофеева А.А. Заявка на патент на изобретение № 2014146181 от 18 ноября 2014 года.

## Повышение эффективности процесса первичного осветления сточных вод с применением флокуляции

Титов Евгений Александрович, кандидат технических наук, доцент;  
 Сафронов Максим Александрович, кандидат технических наук, доцент;  
 Кочергин Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент;  
 Титанов Александр Михайлович, студент  
 Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*Рассмотрены факторы, влияющие на эффективность осветления сточных вод в процессе их первичного отстаивания. Показано, что биокоагуляция взвеси на прикрепленной загрузке в преаэраторе с последующей реагентной обработкой флокулянтами позволяет значительно интенсифицировать процесс осветления сточных вод.*

**Ключевые слова:** хозяйственно-бытовые сточные воды, первичное отстаивание, биокоагуляция, реагентная флокуляция.

Условия формирования хозяйственно-бытовых сточных вод обеспечивают широкий диапазон изменения дисперсности содержащихся в них взвешенных веществ, их адгезионных свойств и, как следствие, способности их осаждению.

Взвешенные вещества осаждаются под действием силы тяжести. Осаждению препятствуют броуновское движение частиц и направленные вверх макро и микропотоки, возникающие в движущейся воде. Скорость осаждения частиц под влиянием силы тяжести описывается уравнением Стокса:

$$u = (gd^2 / 18\eta)(\rho - \rho_B), \tag{1}$$

где  $u$  — скорость осаждения, м/с;  $g$  — ускорение свободного падения,  $d$  — диаметр частиц (для несферических частиц — диаметр шара равновеликого объема), м;  $\eta$  — вязкость воды, Па · с;  $\rho$  и  $\rho_B$  — плотности соответственно частиц и воды, кг/м<sup>3</sup>.

Одиночное осаждение частиц возможно лишь в монодисперсной, агрегативно-устойчивой системе, когда частицы имеют одинаковые размеры и при осаждении не меняют своей формы и размеров. Однако взвешенные вещества, содержащиеся в бытовых сточных водах, имеющие преимущественно органическое происхождение, представляют собой полидисперсную агрегативно-неустойчивую систему с большим диапазоном изменения размеров частиц, обладающих хорошими адгезионными свойствами.

Введение в воду флокулянтов (как в сочетании с биокоагуляцией, так и без нее) значительно увеличивает скорость осаждения взвешенных веществ и сокращает время пребывания воды в отстойниках. Экспериментальные данные, полученные в НИИ КВОВ АКХ и в НИИ ВОДГЕО, подтвердили определяющее влияние флокулянтов на кинетику осаждения взвешенных веществ [1, 2, 3].

Причиной ускорения процесса осаждения взвешенных веществ является образование в присутствии флокулянтов более крупных хлопьев, а при использовании их совместно с биокоагуляцией — более плотных хлопьев, поэтому все обстоятельства, способствующие образованию таких хлопьев (определенный порядок ввода реагентов, перемешивание воды с реагентами при оптимальных значениях градиента скорости, использование флокулянтов с более высокой молекулярной массой, а также применение оптимальных доз флокулянтов), приводят к ускорению осаждения.

Осаждение полидисперсных взвешенных веществ происходит неравномерно: вначале оседают крупные, затем более мелкие частицы. Ход этого процесса характеризуется кривыми осаждения взвешенных веществ или кривыми осветления. Эти кривые показывают (рис. 1) зависимость оптической плотности воды от продолжительности отстаивания и позволяют оценить эффективность процесса образования крупных агрегатов и действия реагентов (флокулянтов), а также влияния условий подготовки хлопьев.

На кривых осаждения сфлуккулированных взвешенных веществ различают три области (см. рис. 1): *АВ* — образование хлопьев; *ВВ* — быстрое осаждение крупных хлопьев; *ВГ* — медленное осаждение мелких частиц. При правильно выбранной дозе реагента и соответствующих условиях подготовки хлопьев их образование заканчивается до начала осаждения, и область *АВ* на кривой оседания отсутствует.

Как видно из рис. 1 оптимальные условия хлопьеобразования зависят от молекулярной массы (ММ) флокулянта и способа выделения из воды твердой фазы.

Непосредственно добавление флокулянта и последующее образование крупных агрегатов взвешенных частиц происходят в камерах хлопьеобразования, где в условиях медленного, но более длительного перемешивания происходит образование крупных и прочных хлопьев.

Относительно градиентов скорости, которые следует поддерживать в камерах хлопьеобразования при использовании катионных полимеров, имеются различные сведения. В большинстве работ рекомендуется перемешивание в камерах хлопьеобразования вести в течение 20–30 мин при  $G = 20...45 \text{ с}^{-1}$ . В проведенных авторами работы [2] лабораторных опытах с городской сточной

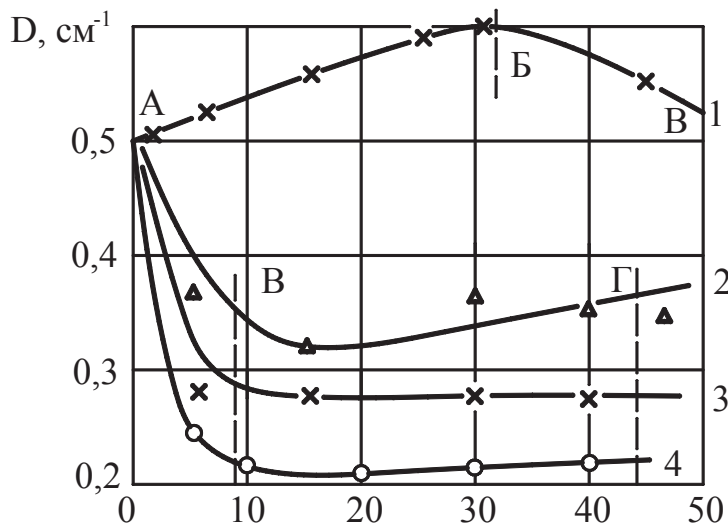


Рис. 1. Изменение оптической плотности  $D, \text{ см}^{-1}$ , в процессе отстаивания сточных вод в течение времени  $t$ , мин, после обработки флокулянтами с различной молекулярной массой (ММ) [2]: 1,2,3,4 — при ММ, равной соответственно 112000; 726 000; 1 260 000 и 3 240 000

водой, обработанной катионным флокулянтom ПЭИ, с молекулярной массой  $1,5 \cdot 10^6$  наилучшие результаты были получены в условиях, когда после быстрого смешения в течение 30 с при  $G = 200 \text{ с}^{-1}$  вода перемешивалась с интенсивностью, соответствующей  $53 \text{ с}^{-1}$ . При снижении значения  $G$  до  $10 \text{ с}^{-1}$  не обеспечивалось образование плотных быстрооседающих хлопьев. Увеличение значения  $G$  до  $115 \text{ с}^{-1}$  приводило к частичному разрушению хлопьев и увеличению мутности осветленной воды.

Осаждение полидисперсных, агрегативно-неустойчивых взвешенных веществ сопровождается гравитационной коагуляцией — слипанием частиц разных размеров вследствие их неравномерного оседания под действием силы тяжести. Слипание частиц при гравитационной коагуляции происходит в результате инерционных явлений, осаждения захватом и подтягивания частиц. Схема этих процессов показана на рис. 2. Слипание под действием инерционных сил в результате прямого столкновения оседающих полидисперсных частиц наблюдается только в грубодисперсных системах с размером частиц, превышающим 100 нм.

Слипание более мелких частиц осуществляется в основном в результате осаждения захватом и подтягивания, происходящих при движении частиц по искривленным траекториям. Закономерности гравитационной коагуляции изучены Ю. И. Вейцером и З. А. Колобовой [3].

Для бидисперсной системы, состоящей из мелких и крупных частиц, скорость уменьшения числа мелких частиц вследствие захвата их оседающими крупными частицами будет выражаться уравнением

$$dn / dt = -Bnn_{кр}, \quad (2)$$

где  $n$  и  $n_{кр}$  — счетная концентрация соответственно мелких и крупных частиц;  $t$  — время осаждения, пропорциональное высоте слоя, который прошли крупные частицы;  $B$  — коэффициент гравитационной коагуляции,

равный объему, из которого за время  $t = 1$  крупная частица в результате явлений, показанных на рис. 2, извлекает мелкие частицы (этот объем в 30–40 раз больше геометрического цилиндра, вырезаемого крупной частицей).

Для описания эффективности осветления сточных вод широко используют эмпирическое уравнение вида

$$\mathcal{E}_t = (t/120)^{a/t} \mathcal{E}_{120}, \% \quad (3)$$

где  $a$  — эмпирический коэффициент, зависящий от концентрации взвешенных веществ, их способности к агломерации и высоты слоя воды, в котором происходит осаждение;  $\mathcal{E}_{120}$  — относительное содержание оседающих веществ в сточной воде к общей массе взвешенных веществ;  $\mathcal{E}_{120} = (C_0 - C_{120})100 / C_0$  (здесь  $C_{120}$  остаточное содержание взвешенных веществ после 120 минут отстаивания в покое).

Как показали экспериментальные исследования, увеличение эффекта осаждения взвешенных веществ, скоагулированных на прикрепленных микроорганизмах в преаэраторе с пневматической системой аэрации, до 76–78% вызывает увеличение эффекта снятия БПК<sub>5</sub> до 45% [4, 5]. Биокоагуляция взвеси на прикрепленной биопленке с последующей обработкой выносимых из преаратора агломерированных взвешенных веществ малыми дозами катионных флокулянтов позволит с небольшими эксплуатационными затратами достичь эффекта осветления до 80% и соответственно снятия БПК<sub>5</sub> до 50–55%. Это, в свою очередь, даст возможность значительно снизить нагрузки по органическим загрязнениям на аэротенки, сократить затраты электроэнергии и времени на биологическую очистку сточных вод. Технологическая схема предварительной обработки сточных вод биокоагуляцией и реагентной флокуляцией последующим с первичным отстаиванием показана на рис. 3.

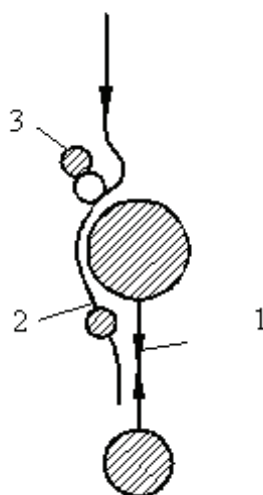


Рис. 2. Схема гравитационной коагуляции: 1 — инерционное осаждение; 2 — захват; 3 — подтягивание

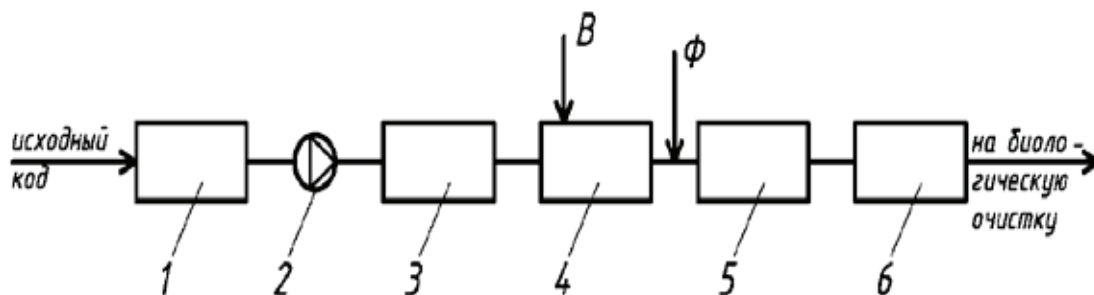


Рис. 3. Схема сооружений предварительной обработки и отстаивания сточных вод: 1 — приемный бак; 2 — насос; 3 — песколовка; 4 — биокоагулятор (преаэратор); 5 — камера хлопьеобразования; 6 — первичный отстойник; Ф — флокулянт; В — сжатый воздух

Предложенная схема может применяться при очистке сточных вод локальных объектов и небольших населенных пунктов.

Литература:

1. Вейцер, Ю.И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод [Текст] / Ю.И. Вейцер, Д.М. Минц. — М.: Стройиздат, 1984.
2. Вейцер, Ю.И. Оптимальные условия образования хлопьев при коагулировании сточных вод [Текст] / Ю.И. Вейцер, Г.Н. Луценко, А.И. Цветков // Водоснабжение и санитарная техника. — 1975. — № 9.
3. Вейцер, Ю.И. Осаждение коагулирующих суспензий [Текст] / Ю.И. Вейцер, З.А. Колобова // Науч. труды АКХ. — М.: ОНТИ АКХ, 1960. т. 1.
4. Гришин, Б.М. Экспериментальные исследования процесса первичного отстаивания сточных вод, предварительно обработанных в преаэраторе [Текст] / Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, А.О. Абрамова // Приволжский научный вестник. — 2015. — № 3-1 (43). с. 32-35.
5. Андреев, С.Ю. Высокоэффективные конструкции аэраторов пневматического типа для биологической очистки сточных вод [Текст] / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, С.Н. Хазов, М.В. Бикунова, С.В. Максимова. Депонированная рукопись № 1891-В2004. — М.: ВИНТИ, 2004. — 120 с.

## Анализ одного «вечного» двигателя

Томилин Александр Константинович, профессор;  
Аксёнова Наталия Валерьевна, старший преподаватель;  
Шевчук Антон Сергеевич, студент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Заглянув в Интернет, можно найти множество хитроумных «самодвижущихся» устройств, в которых трудно определить внешний источник энергии. Авторы устройств, стремятся создать вечный двигатель, несмотря на запрет, вытекающий из первого закона термодинамики. Есть ли практическая польза от «вечных двигателей»? Конечно, создать машину, которая производит работу без внешнего источника энергии невозможно. Тем не менее, изучать «вечные двигатели» полезно по двум причинам: во-первых, иногда в них реализуются оригинальные технические решения, которые полезно знать, во-вторых, возникают познавательные задачи, связанные

с анализом работы этих устройств. Рассмотрение «вечных двигателей» в учебном процессе, безусловно, полезно, поскольку активизирует познавательную деятельность студентов и развивает их творческие способности.

В настоящей работе произведен теоретический анализ «вечного двигателя», изобретенного в 1927 году G.D. Hiscox, M.E. Norman, W. Henley ([vk.com/video30605519\\_163650583?list=204728e0ba66398c01](http://vk.com/video30605519_163650583?list=204728e0ba66398c01)).

Цель исследования — определение источника энергии и рассчитать временной ресурс работы данного устройства.

Рассматриваемый двигатель состоит из колеса с закрепленной осью, стального шарика и магнита (рис. 1).



Рис. 1. Демонстрация работы двигателя

Колесо расположено в вертикальной плоскости на оси, которая закреплена на неподвижной опоре. Колесо может свободно вращаться вокруг оси, возникающее при этом трение мало. Колесо сделано из диамагнетика, т.е. материала который не намагничивается. На внутренней поверхности колеса имеется паз, по которому может кататься стальной шарик. Полосовой магнит располагается в плоскости паза колеса как показано на фотографии (рис. 1). Шарик притягивается к магниту и колесо начинает вращаться вокруг оси. Шарик при этом тоже вращается вокруг оси, проходящей через его центр, оставаясь на неизменном расстоянии от магнита. Теоретически анализируя работу данного двигателя, прежде всего, необходимо выяснить какие силы и моменты действуют на шарик и колесо. Рассмотрим силы, действующие на шарик. Это, конечно, сила тяжести, а также магнитная сила, действующая со стороны магнита (рис.2).

Поскольку шарик вращается, то результирующая магнитная сила приложена не к центру, а несколько выше его. Можно перенести эту силу и приложить к центру шарика, но при этом необходимо добавить вращающий момент  $M_{вр}$  (рис. 2). Сложив силу тяжести и магнитную силу, получим силу  $\vec{N}'$ , линия действия которой проходит через центр колеса. Эта сила образует угол с вертикалью  $\alpha$ . Сила  $\vec{N}'$  проходит через центр шарика, следовательно, она не может вызвать его вращение. Под действием момента  $M_{вр}$  шарик приходит во вращательное движение и, создается сила сцепления с колесом  $\vec{F}_{сц}$ . Кроме этого на шарик действует нормальная реакция  $\vec{N}$ . В следствие деформаций шарика и поверхности, по которой он катится, линия действия силы  $\vec{N}$  отстоит от центра шарика на некотором расстоянии  $\delta$  (коэффициент трения качения). Силы  $(\vec{N}, \vec{N}')$  образуют пару сил с плечом  $\delta$ , то есть создаётся момент трения качения:

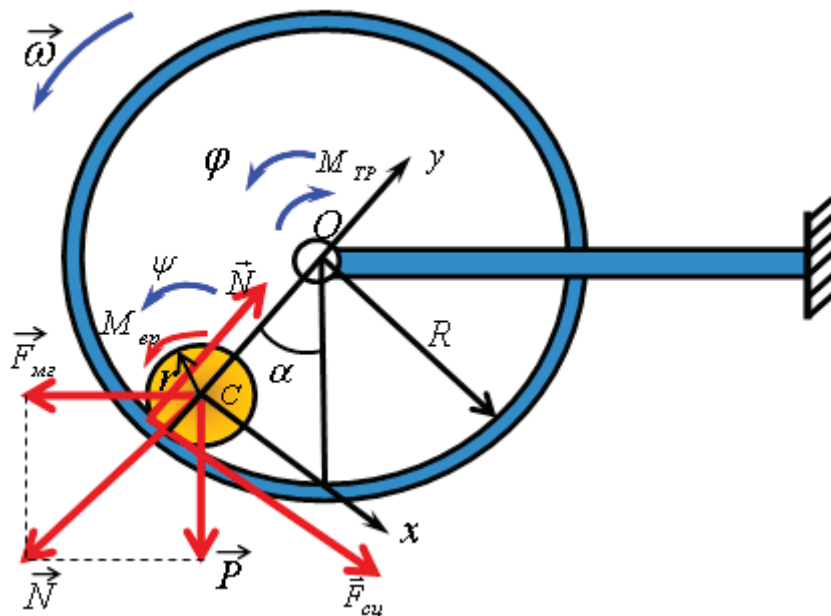


Рис.2. Силовой анализ механизма

$$M_{тр.кач} = N\delta. \quad (1)$$

Так как вращение шарика происходит с постоянной угловой скоростью, то можно записать:

$$M_{тр.кач} = M_{вр}. \quad (2)$$

Следовательно,  $M_{вр}$  определяется по формуле:

$$M_{вр} = N\delta. \quad (3)$$

Нормальную реакцию поверхности, действующую на шарик  $N = N'$ , можно выразить через известную силу тяги:

$$N = \frac{P}{\cos \alpha}. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3), получим формулу для вычисления, вращающего момента:

$$M_{вр} = \frac{P\delta}{\cos \alpha}. \quad (5)$$

Далее рассмотрим моменты сил, действующие на колесо. Колесо вращается за счет момента, который создает сила сцепления, возникающая между колесом и шариком. За счет трения в осевом подвесе возникает момент  $M_{тр}$ . Поскольку колесо вращается с постоянной угловой скоростью, то эти моменты уравниваются друг друга (рис. 3):

$$M_{тр} = F_{сц} \cdot R, \quad (6)$$

где  $R$  — радиус колеса.

Запишем уравнение сил в проекции на ось  $x$ :

$$F_{сц} + P \cdot \sin \alpha - F_{мг} \cdot \cos \alpha = 0, \quad (7)$$

и определим силу сцепления шарика с колесом:

$$F_{сц} = -P \cdot \sin \alpha + F_{мг} \cdot \cos \alpha. \quad (8)$$

С учетом (8) выражение (6) примет вид:

$$M_{тр} = (-P \cdot \sin \alpha + F_{мг} \cdot \cos \alpha) \cdot R. \quad (9)$$

Колесо и шарик вращаются с постоянными угловыми скоростями, следовательно, имеет место энергетический баланс:

$$\varphi M_{тр} = \psi M_{вр}, \quad (10)$$

где  $\varphi$  — угол поворота колеса,  $\psi$  — угол поворота шарика. Подставляя в (10) выражения (5) и (9), и учитывая передаточное отношение между колесом и шариком:

$$\frac{\varphi}{\psi} = \frac{r}{R}, \quad \text{получим формулу для силы сцепления:}$$

$$F_{сц} = \frac{P\delta}{r \cos \alpha}. \quad (11)$$

Соответственно момент трения в оси колеса равен:

$$M_{тр} = \frac{P\delta}{\cos \alpha} \frac{R}{r}. \quad (12)$$

Используем данные: радиус колеса  $R = 0,2 м$ , радиус шарика:  $r = 1,5 см = 0,015 м$ , угол отклонения шарика от вертикали:  $\alpha = 30^\circ$ , коэффициент трения качения для металлических сплавов  $\delta = 0,1 мм = 10^{-7} м$ . Подставляя, эти данные в исходную формулу для момента трения в оси колеса, получим окончательный результат:

$$M_{тр} = 1,5 \cdot 10^{-8} Н \cdot м.$$

Момент сил трения в оси колеса является внешним для системы «колесо-шарик». Он совершает отрицательную работу. Для постоянного движения системы необходимо

поступление энергии извне. Где источник энергии? Выдвинем гипотезу: происходит преобразование энергии магнита в механическую энергию движения системы «шарик-колесо». Кинетическая энергия постепенно преобразуется в тепловую за счет диссипативных процессов.

Кроме диссипации энергии за счет трения в оси колеса, укажем еще один диссипативный процесс. Действительно, стальной шарик во внешнем магнитном поле намагничивается. При этом вектор намагниченности сохраняет в пространстве постоянное направление. Но шарик вращается, следовательно, происходит постоянное изменение вектора намагниченности в шарике, то есть шарик перемагничивается. Это происходит за счет энергии, поступающей от магнита, который постепенно размагничивается. За счет постоянного перемагничивания шарика, часть магнитной энергии преобразуется в тепло. То есть происходит диссипация энергии. Однако оценить эти потери сложно. Предположим, в дальнейших расчетах, что они малы по сравнению с работой сил трения на оси колеса.

Оценим энергию магнита. Для этого требуется иметь некоторые данные о самом магните. Примем плотность магнитной энергии:  $w = 270 кДж / м^3$ , габариты магнита:  $1 см \times 2 см \times 4 см$ , объем магнита:  $V = 8 \cdot 10^{-6} м^3$ , магнитная энергия:  $W = wV \approx 2 Дж$ .

Для определения временного ресурса установки приравняем энергию магнита к работе момента трения:

$$W = M_{тр} \cdot \varphi_{\Sigma} = M_{тр} \cdot \omega \cdot t, \quad (13)$$

Угловую скорость вращения колеса можно определить по формуле:

$$\omega = 2\pi\nu,$$

где  $\nu = 1с^{-1}$  - частота вращения колеса. Из уравнения (13) выразим искомую величину времени до остановки движения системы:

$$t_{ост} = \frac{W}{M_{тр}\omega}. \quad (14)$$

Подставляя, все известные данные в полученную формулу получаем время в численном виде:

$$t_{ост} = \frac{W}{M_{тр}\omega} = 1,4 года.$$

Поскольку, в этих расчетах учтены не все диссипативные процессы, округлим полученный результат в меньшую сторону:

$$t_{ост} \approx 1 год.$$

Проделав основной расчёт, мы определили приблизительное время в течение которого, механизм будет работать. Другими словами, время, в течение которого будет вращаться колесо.

Из полученного результата можно заключить, что двигатель, конечно, не является вечным, несмотря на то, что работает относительно долго. Можно с уверенностью сказать, что выдвинутая гипотеза привела к адекватному результату. В конечном итоге, магнит размагнитится и уже не сможет удерживать шарик. Шарик займет самое



нижнее положение на колесе и работа двигателя прекратится.

Опираясь на первый закон термодинамики, который выражает универсальный закон сохранения энергии и ис-

ключает возможность создания вечного двигателя первого рода, можно заключить, что для работы любого двигателя, необходим какой-либо, внешний источник, который обеспечит механизм необходимым количеством энергии.

Литература:

6. Каганов, М. И., Цукерник В. М. Природа магнетизма. — М. 2008. — 194 с.
7. Маркеев, А. П. Теоретическая механика: Учебник для университетов. 3-е изд. — М. — Ижевск: РХД, 2007. — 592 с.

## Минарет Калян — жемчужина Востока

Тошев Илёс Идибекович, старший преподаватель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Бухара продолжает жить своим выверенным тысячелетиями, ритмом жизни, полным величия и достоинства, внутреннего спокойствия и неторопливости. «Пыль веков», составляющая десятки метров археологических слоев, скрывает множество тайн истории города. Но, как говорят суфии: «Если у тебя нет тайны, то нет и глубины сердца».

Уникальное «окно» в Прошлое, открытое нам в Бухаре, дает редкий шанс отвлечься от суеты современности.

Остановиться, чтобы увидеть застывшую «музыку», воплощенную в бухарский мозаичных и ганчевых узорах, потолочных росписях и сталактитовых украшениях. Зачерпнуть воду из святых источников. Услышать «тишину небес» в суфийских ханака. Прикоснуться к камням мавзолеев священных персон. Удивиться голубому небу, «проколотому» минаретом Калян...



Появление минаретов как башен для созыва на молитву относится к концу VII-начала VIII в. Их архитектурными прототипами стали средиземноморские колокольни и маяки, а также восточные сторожевые башни постройки и китайские вертикальные пагоды. От первых минаретов в Центральной Азии остались только башни X в. высотой до 10 м в Мервском оазисе. В XI–XII вв. Сельджукиды, Газневиды и Караханиды осуществили постройки гигантских минаретов как триумфальных башен ислама. Из них в Узбекистане сохранились Калян в Бухаре, минареты в Джаркургане и Вабкенте, в Кыргызстане — башня Бурана.

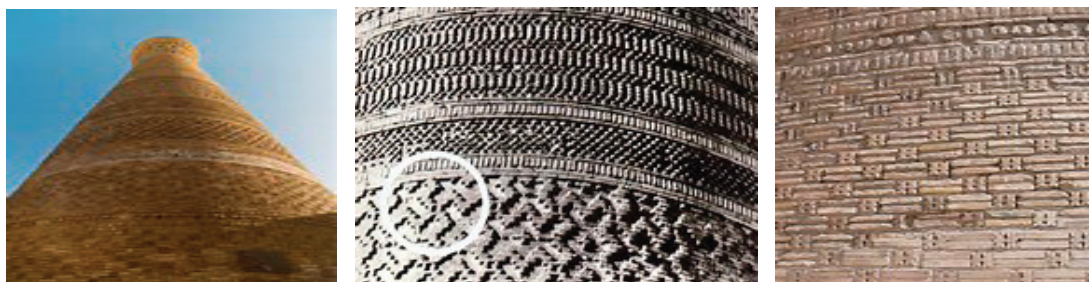
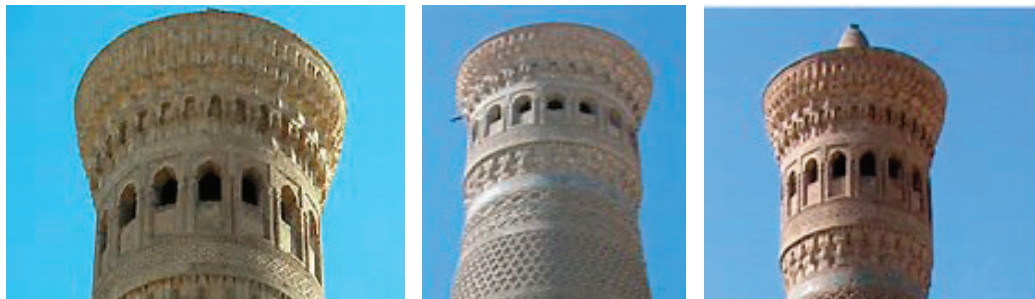
Минарет Калян («Великий») стал главным символом священной Бухары. На протяжении тысячи лет эта са-

кральная башня господствует над Бухарой, декларируя величие исламской веры. У подножия минарета находится центральный ансамбль Бухары — Пои-Калян («Подножие Великого»), включающий кафедральную мечеть Калян («Подножие Великого»), включающих кафедральную мечеть Калян (XV–XVI вв.), медресе Мири-Араб (XVI в.) и медресе Амира Алим-хана (начало XX в.). Калян заменил собой первый минарет Бухары, построенный согласно ан-Наршахи в 918–919 гг. и разобранный в 1120-е гг. по приказу Караханида Арслан-хана.

Минарет Калян построен из жженого кирпича. Он имеет форму круглой башни высотой 45,5 м, диаметром в основании 9 м и вверх — 6 м. Поверхность ми-

нарета украшена 12 поясами геометрического орнамента, часть которых включает кувшитские письмена. На минарете указан год сооружения — 1127 и упомянуто имя зодчего — Бако. По легенде, Бако, заложив фундамент ми-

нарета, неожиданно «исчез» и не появлялся, пока раствор не отвердел. Он опасался, что хан будет торопить строительство и это приведет к обрушению минарета, как это случилось в 1121 г.



Внутри башни находится спиралеобразная лестница со 104 ступеньками, наверху — фонарь с 16 арками, оформленный сталактитами. Ранее над фонарем располагалось верхнее звено минарета, после утраты которого здесь появилась современная надстройка. Верхняя часть минарета Калян пострадала при артобстреле и авиабом-

бардировке Бухары Красной Армией в 1920 г. и была восстановлена в результате реставрационных работ. У минарета Калян есть и другое название — «Башня смерти», связанное с тем, что он был местом казни — с его верхней площадки сбрасывали осужденных на смерть людей.



Минарет почти девять столетий устойчиво высится в сейсмически опасной зоне, к которой относится Бухара. Секрет устойчивости минарета Калян в правильно выбранных соотношениях его отдельных частей, в кон-

струкции фундамента и высоком качестве кирпичной кладке. У подножья минарета Калян раскинулся прекрасный архитектурный ансамбль — мечет Калян и медресе Мири-Араб.

## Методы определения свойств самоуплотняющихся бетонных смесей

Трусов Денис Евгеньевич, студент;

Коровкин Марк Олимпиевич, кандидат технических наук, доцент;

Ерошкина Надежда Александровна, кандидат технических наук, инженер-исследователь  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*В статье рассмотрены различные методы оценки удобоукладываемости самоуплотняющихся бетонов. Установлено, что многие ученые используют различные методы оценки свойств бетонов, что не позволяет сопоставить результаты исследований. Делается вывод о необходимости нахождения корреляционных зависимостей между результатами определения удобоукладываемости по различным методикам.*

**Ключевые слова:** самоуплотняющийся бетон, бетонная смесь, удобоукладываемость, реологические свойства, метод оценки.

Реологические и технологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей значительно отличаются от свойств обычных бетонов. В связи с этим для проектирования состава бетона и контроля его свойств в лабораторных и производственных условиях необходимы специальные методы определения удобоукладываемости бетонной смеси. Еще на начальных этапах развития технологии самоуплотняющихся бетонов были созданы различные методы определения их свойств. Некоторые из этих методов включены в национальные и международные стандарты, другие используются отдельными исследовательскими центрами. Отсутствие единой методики определения свойств самоуплотняющихся бетонных смесей затрудняет сопоставление результатов, полученных различными исследователями.

Для оценки соответствия бетонной смеси требованиям, предъявляемым к самоуплотняющимся смесям, используются показатели ее текучести, способности запол-

нить форму с густым арматурным каркасом, стойкости к расслоению и водоотделению. Для определения этих характеристик разрабатывались новые и модифицировались существующие методики оценки удобоукладываемости бетонных смесей.

Сотрудниками из Токийского университета был предложен метод определения течения бетонной смеси, который в литературе называют U-испытания (U-Test) [1]. На рис. 1, показана схема приспособления для определения возможности уплотнения бетона без внешнего воздействия. После заполнения левой части прибора бетонной смесью сдвигается заслонка, разделяющая левую часть прибора от правой. Бетонная смесь перетекает в правую часть, преодолевая сопротивление решетки, моделирующей арматурный каркас. Если высота поднятия бетонной смеси  $H$  превышает 300 мм, то такая бетонная смесь признается самоуплотняющейся.

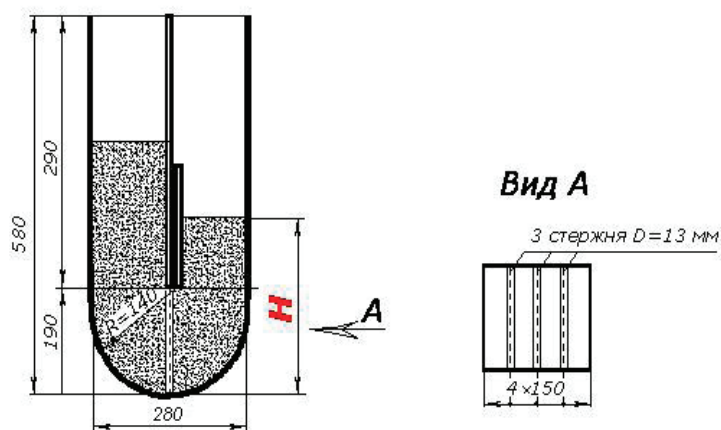


Рис. 1. Схема U-испытаний самоуплотняющейся бетонной смеси

Японскими исследователями был предложен метод определения свойств самоуплотняющихся бетонов по скорости истечения бетонной смеси из V-образной емкости (рис. 2). Этот метод известен в зарубежной литературе как V-funnel test [2]. В соответствии с этой методикой реологические свойства бетонной смеси характеризуются временем истечения смеси, которое может составлять от 8 до 25 секунд, или относительной скоростью  $R = 10/t$ , где  $t$  — время вытекания бетонной смеси.

Другой метод определения текучести бетонной смеси — метод Оримета (Orimet test) — также основан на определении времени вытекания смеси из емкости [3]. Емкость по этой методике представляет собой трубу с внутренним диаметром 120 мм (рис. 3). В нижней части трубы для создания стесненных условий при выте-

кании смеси предусмотрено сужение сечения до 85 мм. Эта методика позволяет учитывать влияние на растекаемость бетонной смеси ее падения с небольшой высоты, а при использовании кольцевой преграды с 16 стержнями (J-ring) [3] позволяет моделировать растекаемость бетона в армированных конструкциях.

К числу часто используемых методов, позволяющих определить растекаемость бетонной смеси с учетом блокирующего эффекта арматурных стержней, можно отнести метод, использующий L-образную установку, известный в зарубежной научно-технической литературе как L-box test [4]. В отличие от методики U-box бетонная смесь после открытия задвижки не поднимается по вертикальному каналу, а растекается в горизонтальном направлении, преодолевая дополнительное сопротивление арматурных

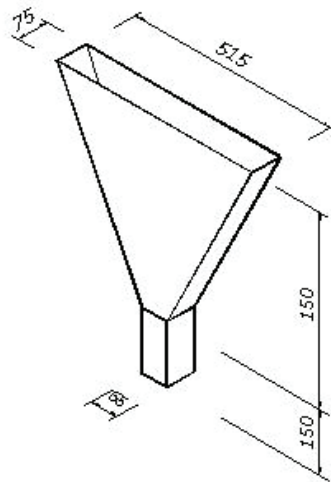


Рис. 2. V-образная емкость для определения скорости вытекания бетонной смеси

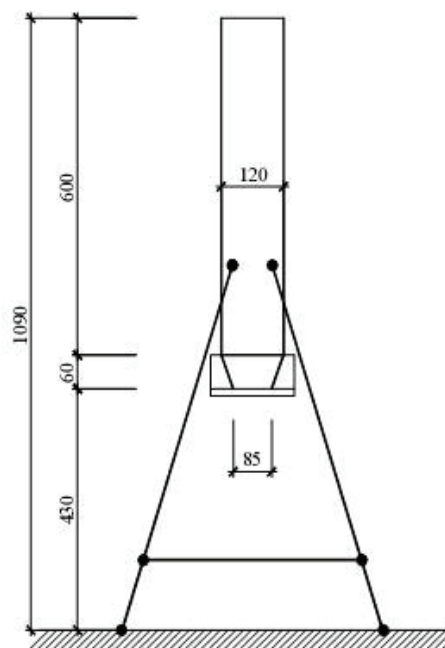


Рис. 3. Определение текучести бетонной смеси методом Оримета

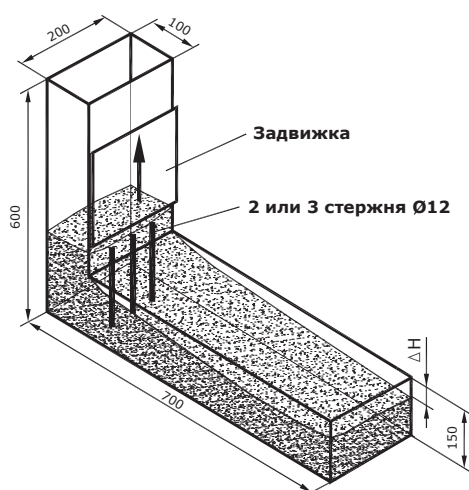


Рис. 4. L-образная установка для определения текучести самоуплотняющейся бетонной смеси

стержней (рис. 4). Показателем удобоукладываемости в этой методике является отношение высоты бетонной смеси в конце горизонтального отсека к высоте смеси, оставшейся в вертикальном отсеке. Для самоуплотняющегося бетона это отношение обычно составляет 0,8...0,9.

Все предлагаемые методы определения текучести бетонной смеси достаточно сложны, поэтому в стандарты Европейского Союза и США вошли методики, основанные на стандартном конусе Абрамса. В соответствии с этими стандартами [5, 6] расплыв смеси должен составлять 500...750 мм. Для испытания самоуплотняющегося бетона с помощью конуса был введен дополнительный показатель — время растекания смеси до диаметра 500 мм. Это время составляет обычно от 2 до 5 секунд [4].

Для учета влияния арматуры на текучесть бетонной смеси при ее испытании с помощью блокирующего кольца

с 16 стержнями (J-Ring). В стандартах некоторых стран нормируется расплыв смеси с блокирующим кольцом или разность расплыва смеси с кольцом и без него; так, по стандарту ЕС [5] разность не должна превышать 50 мм.

Анализ опыта использования различных методик [1–4, 7, 8] для исследования свойств самоуплотняющихся бетонных смесей позволяет сделать вывод о том, что для контроля характеристик удобоукладываемости таких бетонов в производственных условиях наиболее пригодными являются конус Абрамса, а также методы V-funnel и Orimet, а для исследования свойств в лабораторных условиях, кроме этих методов, могут применяться методы U-box и L-box. Для сопоставления данных, полученных различными методами, целесообразно нахождение корреляционных зависимостей по результатам статистической обработки экспериментов.

#### Литература:

1. Hayakawa, M. et. al. Development and Application of Super-workable Concrete. — E & FN Spon, London, UK, 1994. — pp. 183–190.
2. Ozawa K, Sakata N, Okamura H. Evaluation of self-compatibility of fresh concrete using the funnel test // Concrete Library of JSCE. — 1995. — No 25. — pp. 59–75.
3. Bartos, P.M.J. An Appraisal of the Orimet Test as a Method for on Site Assessment of Fresh SCC Concrete // Proceedings of International Workshop on Self-Compacting Concrete. — Kochi University of Technology, Japan, 1998. — pp. 121–135.
4. Petersson, Ö., Billberg P., Van B.K. A model for selfcompacting concrete // Proceedings of Int. RILEM Conference on Production Methods and Workability of Concrete / Ed. by P. J. M. Bartos, et al. (Chapman & Hall), Paisley, 1996. — pp. 483–490.
5. DIN EN 12350–2 Test of consistency of fresh concrete through the slump test pursuant.
6. ASTM C 1611 — Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete.
7. Иманов, М.С., Коровкин М. О. Исследование удобоукладываемости и прочности самоуплотняющегося бетона // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: материалы II Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / под общ. ред. В.И. Калашникова. — Пенза: ПГУАС, 2007. — 367 с.
8. Коровкин, М. О. Эффективность суперпластификаторов и методология ее оценки // М. О. Коровкин, В. И. Калашников, Н. А. Ерошкина; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Пензенский гос. ун-т архитектуры и стр-ва». Пенза, 2012. — 144 с.

## Исследование влияния противосадочной добавки на деформации цементного камня

Уразова Алина Андреевна, студент;  
Ерошкина Надежда Александровна, кандидат технических наук, инженер-исследователь;  
Коровкин Марк Олимпиевич, кандидат технических наук, доцент  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Приведены результаты исследования противосадочной добавки на усадочные деформации и прочность в различные сроки испытания. Установлено, что при дозировках более 2% добавка Denka CSA 20 значительно повышает усадку и снижает прочность цементно-песчаного раствора.

**Ключевые слова:** противосадочная добавка, усадка, прочность, карбонизация, микродефекты цементного камня.

Условия твердения и эксплуатации тонкослойных цементных покрытий, к которым относятся наливные полы, цементные стяжки, шпаклевки и штукатурки, определяют образование в них усадки, что может вызвать растрескивание материала, а также снижение сцепления покрытия с основой. Для предотвращения таких явлений используют минеральные и химические добавки, обеспечивающие образование в цементном камне расширяющихся сульфаталюминатных фаз [1–5]. Эти фазы обеспечивают значительное снижение усадочных деформаций, а при превышении дозировки могут вызвать увеличение объема материала.

В ранее проведенных исследованиях для образования в системе этtringита исследовалось действие противосадочной добавки Denka CSA 20 на основе гидросульфаталюминатов кальция [3]. Эффективность добавки оце-

нивалась по изменению деформаций усадки-набухания и прочности при нормально-влажностном твердении в эксикаторе над слоем воды в течение 28 суток. Исследованиями была установлена эффективность добавки как расширяющегося компонента системы и выявлена дозировка добавки, введение которой не вызывает значительного снижения прочности композиции [3].

Усадка цемента в значительной степени определяет долговечность тонкослойных покрытий. При испытаниях строительных материалов деформации усадки-набухания в цементных композициях оцениваются до наступления стабилизации, которая завершается после 1–3 месяцев. Однако, иногда, и в более поздние сроки в покрытиях на основе портландцемента могут возникать усадочные трещины, что свидетельствует о дальнейшем развитии деформаций в цементном камне под действием

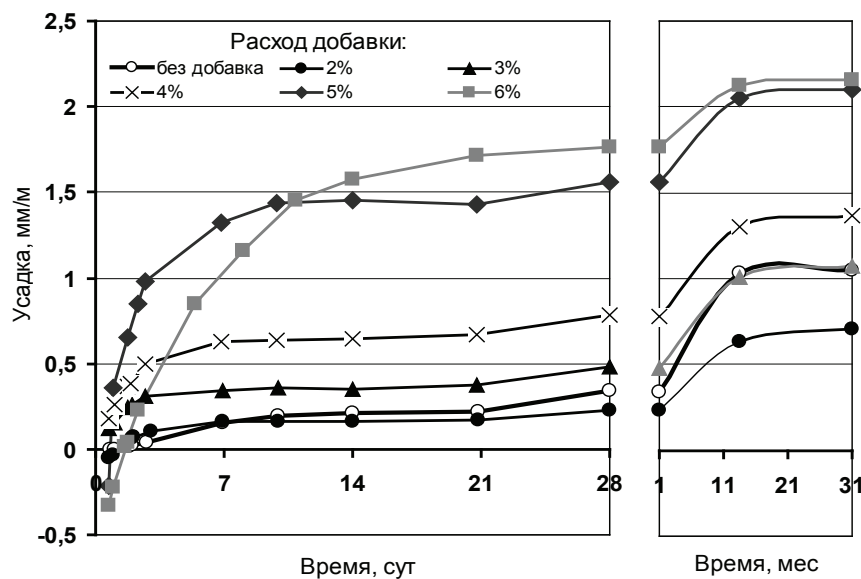


Рис. 1. Изменение деформаций усадки в зависимости от дозировки добавки Denka CSA при твердении в нормально-влажностных условиях

протекающих в нем физико-химических процессов. В научно-технической литературе отсутствуют данные об усадочных деформациях в поздние сроки.

В настоящей работе нами были изучены деформации усадки-расширения цементных растворов с противоусадочной добавкой в течение 1–2,5 лет. Одновременно с исследованием усадочных деформаций оценивалась прочность при сжатии. Исследования проводились на образцах с размерами 40×40×160 мм изготовленных из цементно-песчаного раствора 1:2 с В/Ц=0,6. Образцы после изготовления и распалубки хранились в эксикаторе над водой.

Деформации образцов измерялись на начальных этапах твердения с помощью оптического компаратора ИЗВ-2 с ценой деления 0,001 мм, а затем усадка определялась с помощью индикатора часового типа Ч10 с ценой деления 0,01 мм.

Для изготовления образцов использовались портландцемент ПЦ 500 Д 0 производства ОАО «Осколцемент» и песок Сурского месторождения фракции 0–0,63 мм. В качестве противоусадочной добавки использовалась добавка Denca CSA 20 в дозировках 2, 3, 4, 5, 6%.

По результатам эксперимента были построены графики зависимостей деформаций усадки (рис.1) от времени твердения, а также прочности от дозировки добавки (рис.2).

Из графиков на рис. 1 видно, что в течение 2 суток происходит увеличение линейных размеров образцов с высоким содержанием добавки. Через 2–3 суток в образцах развивается усадка. Усадочные деформации возрастают в несколько раз в сравнении с усадкой контрольного состава при увеличении расхода добавки от 2 до 6%. При хранении образцов в воздушно-влажном условиях их усадка повышается в течение года, а затем изменение размеров образцов не отмечается.

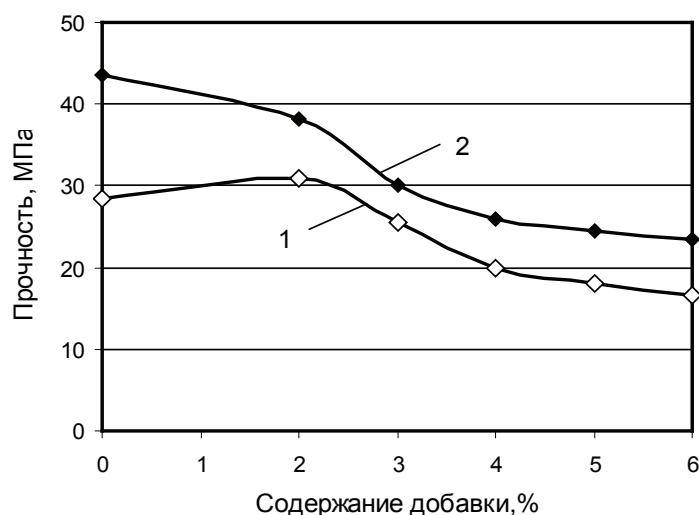


Рис. 2. Влияние добавки Denca CSA на прочность раствора при сжатии после твердения в нормальных условиях через 28 суток (1) и 31 месяц (2)

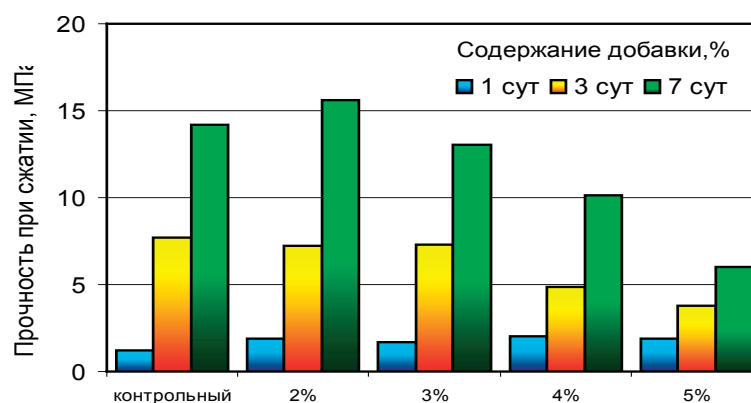


Рис. 3. Влияние дозировки добавки на прочность цементно-песчаного раствора в различные сроки

При всех дозировка добавки, кроме 2%, усадка выше, чем в контрольном бездобавочном составе, несмотря на то, что добавка характеризуется расширяющим действием в начальные сроки. Негативное действие Depca при повышенной дозировке можно объяснить значительным увеличением количества микродефектов структуры при расширении добавки, что повышает проницаемость цементного камня для углекислого газа и значительно ускоряет карбонизационную усадку. Предположение о повышении дефектности подтверждается данными о влиянии расхода Depca на прочность раствора — прочность снижается при увеличении дозировки добавки (рис. 2). Данные о влиянии дозировки добавки на прочность цементно-песчаного раствора в раннем возрасте (рис. 3) свидетельствуют о негативном влиянии расхода добавки выше 2% на прочность в более поздние сроки.

Предположительное увеличение количества карбоната кальция, образующегося в результате взаимодействия ги-

дролитной извести с углекислым газом не приводит к заливанию микродефектов, образующихся в результате расширяющего действия добавки. Об этом свидетельствует незначительный прирост прочности за 2 года в составах с повышенным расходом добавки.

### Выводы

Исследования добавки Depca CSA 20 позволяют сделать вывод о том, что эта добавка способна снизить усадочные деформации цементно-песчаного раствора только при дозировке не более 2%. При такой дозировке происходит повышение прочности раствора. Повышение дозировки добавки более 3% приводит к увеличению размеров образцов в период от 1 до 3 суток, а в более поздние сроки — значительному повышению усадочных деформаций. В связи с этим дозировка добавки не должна превышать 2%.

### Литература:

1. Тейлор, Х. Химия цемента. — М. Мир, 1996. — 560 с.
2. Коровкин, М. О. Исследование водоредуцирующего эффекта суперпластификаторов в глиноземистых цементах / М. О. Коровкин, Н. А. Ерошкина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2011. — № 22. — с. 79–82.
3. Коровкин, М. О. Исследования усадки смешанного вяжущего для самонивелирующихся смесей / М. О. Коровкин, Н. А. Ерошкина, Д. О. Лебедева, В. М. Журавлев // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов. Сборник статей МНТК. Пенза: Приволжский дом знаний, 2007. — С 77–80.
4. Хльмберг, Л. Влияние добавок, снижающих усадку в бетоне и строительном растворе. Новая технология измерения усадки // Сборник докладов конференции MixBUILD. — 2004.
5. Ерошкина, Н. А. Влияние химических добавок на усадочные деформации цементных напольных смесей / Н. А. Ерошкина, М. О. Коровкин, А. М. Горячев // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/48398> (дата обращения: 19.03.2015).

## Об одном геометрическом методе определения линии общего уклона плоской кривой

Хаитов Бафо Усманович, кандидат технических наук  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

*В статье приведено определение линии общего уклона плоских кривых востребованных в практике инженерного проектирования для определения плоскости рельефа.*

**Ключевые слова:** геометрическое моделирование, наклонная кривой, плоскость рельефа.

В задачах преобразования рельефа местности в проектную поверхность часто применяются математические методы. В современных условиях проектирования в режиме реального времени или объектно-ориентированного проектирования решение некоторых задач упрощается при геометрическом подходе. Такой подход принято называть геометрическим моделированием.

Все более востребованными становятся методы геометрического моделирования в инженерном проектировании посредством компьютерного моделирования, так как решение проблемы приобретает пространственный, наглядный вид.

В проектировании проектной поверхности относительно рельефа местности применяется математический



метод по входным данным  $x$ ,  $y$ ,  $z$  координат дискретных точек рельефа (Рис. 1).

Преобразование рельефа в проектную поверхность требует от инженера проектировщика математических навыков высокого уровня что усложняет процесс проектирования. Определение и выбор оптимальной проектной поверхности по структурным линиям рельефа [1] становится все более востребованным в практике инженерного проектирования, так как проектирование происходит в режиме реального времени и приобретает творческий характер. В современных системах инженерного проектирования таких как: Компас, AutoCAD имея входные данные о топографической поверхности можно

построить структурные линии рельефа — профильные и поперечные сечения, изолинии, линии ската, водоразделы, тальвеги [2,3]. Все это визуализируется в режиме реального времени и даёт широчайшие возможности анализа инженеру-проектировщику даже среднего класса.

Рассмотрим наклонную линию произвольной плоской кривой, каковым является профильное или поперечное сечение рельефа. Имея ряд таких профильных или поперечных сечений чередующихся на определенном расстоянии ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) можно представить каркасную модель рельефа (Рис. 2). Основной задачей анализа рельефа является определение общего уклона местности и на основе ее выбирается проектная поверхность.

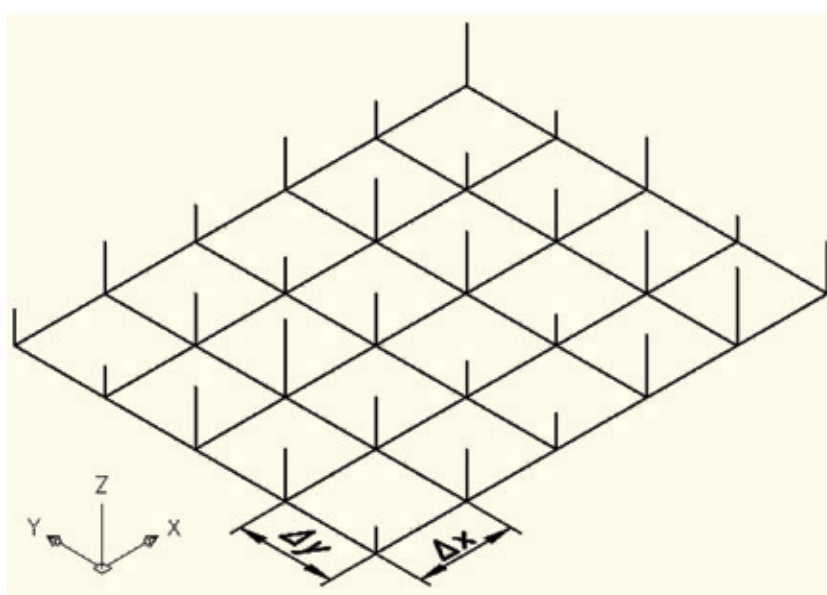


Рис. 1. Входные данные рельефа

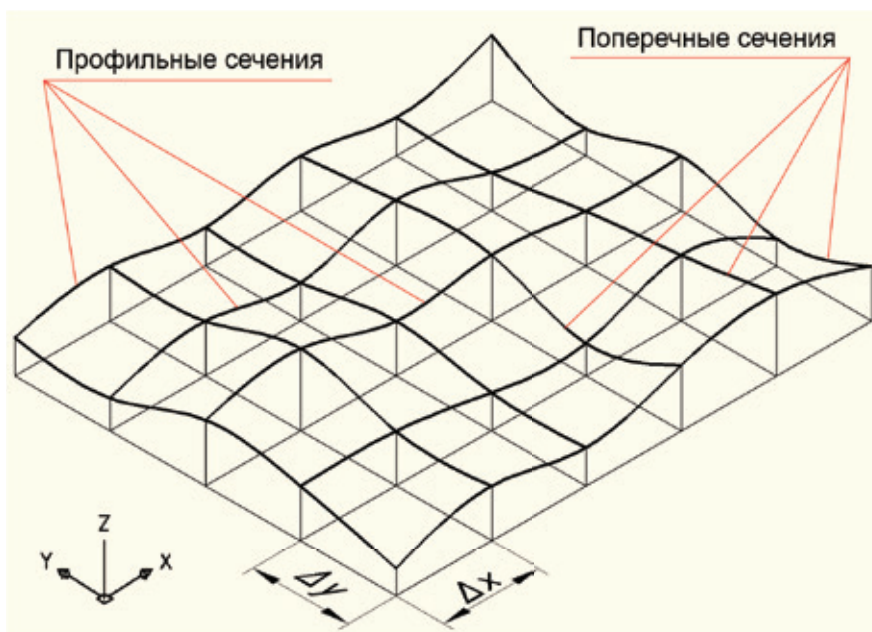


Рис. 2. Каркасная модель рельефа

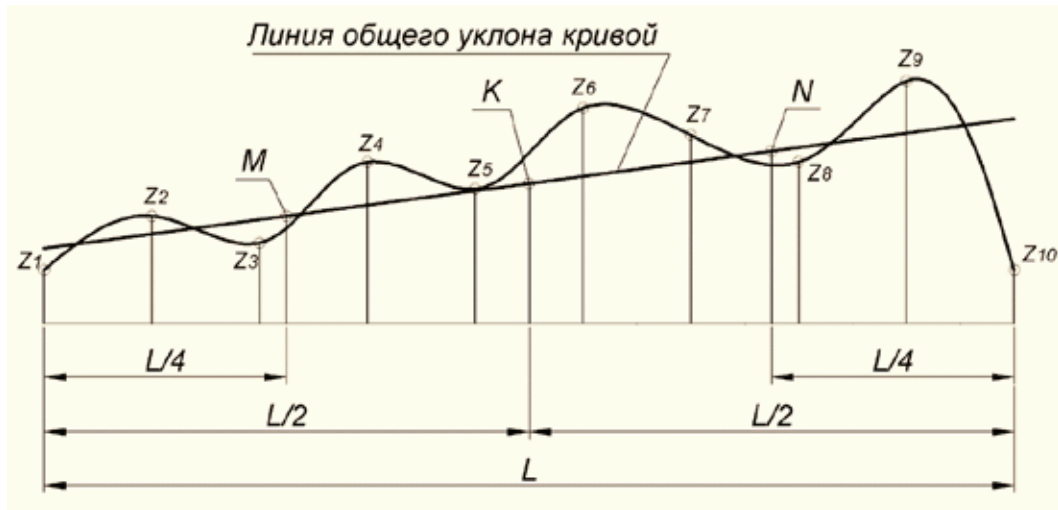


Рис. 3. Определение линии общего уклона кривой

Предлагается методика определения общего уклона для произвольной плоской кривой методом конечных разностей (рис. 3).

1. Определяется среднее значение высот  $Z$ :

$$K = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n}{n} \quad (1)$$

Точка  $K$  принадлежит искомой прямой и расположена на расстоянии  $L/2$  (рис. 3).

2. Следует найти еще одну точку. Для этой цели берется половина расстояния  $L/2$  и определяется среднее значение высот  $Z$  в этом промежутке также по уравнению (1) и находится значение  $Z$  точки  $M$  или  $N$ . Точка  $M$  или  $N$  расположена на расстоянии  $L/4$ . Данные точки также принадлежат искомой прямой (рис. 3).

Наклонная кривой весьма важна с точки зрения определения общего уклона данной местности, в частном случае для плоской кривой каковым является профильное сечение рельефа.

Литература:

1. Хаитов, Б. У. Геометрическое моделирование рельефа для задач выбора оптимальной проектной поверхности и водоотведения // Молодой ученый: Ежемесячный научный журнал. — Казань, 2014. — № 4 (63). — С.292–194.
2. Хаитов, Б. У. О построении структурных линий рельефа // Молодой ученый: Ежемесячный научный журнал. — Казань, 2014. — № 4 (63). — С.289–291.
3. Хаитов, Б. У. Построение сети специальных линий на топографической поверхности // САНИИРИ на пути к интегрированному управлению водными ресурсами: Сб. науч. трудов. — Ташкент: НИЦ МКВК. — с. 183–187, 2010.

## К проблеме выбора реагентов — модификаторов для флотационного обогащения углей

Хамитов Тимур Маратович, инженер

Учалинский горно-обогатительный комбинат, Сибайский филиал (Республика Башкортостан)

Утвержденная правительством РФ «Долгосрочная программа развития угольной отрасли на период до 2030 г». предусматривает увеличение объемов добычи угля. Однако, интенсификация процессов подземной выемки существенно ухудшила качество рядового угля:

уменьшилась теплота сгорания, увеличилась зольность, влажность и содержание серы в углях. Помимо этого, дефицит углей высокой коксуетности привел к увеличению объемов добычи труднообогатимых углей, запасы которых составляют практически половину мировых запасов угля.

В связи с этим развитие процесса обогащения углей представляется как основное направления развития производственного потенциала угольных бассейнов.

Среди наиболее прогрессивных технологий обогащения следует отметить гравитационные методы и флотацию. В мировой практике на сегодняшний день единственным эффективным способом обогащения тонких шламов остается флотация. Совершенствование технико-экономических показателей флотации углей во многом определяется применяемым реагентным режимом.

В последние годы в связи с вовлечением в переработку труднообогатимых руд, а также из-за ужесточения требований к полноте использования минерального сырья, возникла необходимость пересмотра применяемых во флотационной технологии реагентных режимов. Многочисленные исследования флотации труднообогатимых углей в основном связаны с улучшением эффективности и селективности этого процесса благодаря использованию новых реагентных режимов.

Одним из определяющих факторов, обеспечивающих полноту извлечения органической массы угля при пенной флотации и себестоимость концентрата, является состав флотореагента (собиратель и вспениватель), а также их доступность на рынке и приемлемая стоимость.

Для получения концентратов, удовлетворяющих высоким требованиям коксохимической промышленности, при флотации труднообогатимой высокозольной угольной мелочи обычными флотореагентами, необходимо увеличивать расходы реагентов, или, в некоторых случаях, заменять их более эффективными [1].

В настоящее время на углеобогатительных фабриках страны в качестве реагентов-собирателей применяются, в основном, дешевые технические продукты или отходы нефтехимической промышленности, которые обладают низкой флотационной активностью и требуют значительного расхода для достижения удовлетворительных показателей обогащения. Совершенствование реагентных режимов флотации возможно, в частности, на основе использования высокоактивных собирателей, а также дополнительных реагентов — модификаторов угольной поверхности, которые позволяют интенсифицировать процесс флотации, причем не только за счет повышения извлечения ценного компонента в концентрат, но и благодаря сокращению времени флотации. В качестве модификаторов в настоящее время в процесс флотации вовлекаются новые, более эффективные, дешевые и селективно-действующие химические соединения гетерополярного строения.

Целесообразность использования гетерополярных реагентов обусловлена, в первую очередь, строением органической массы угля. С точки зрения современных представлений ископаемый уголь следует рассматривать как гетерогенный адсорбент — только в органической массе угля насчитывается до 14 отдельных микрокомпонентов, различающихся по происхождению, составу и свойствам. Между ними существует множество переходных форм,

еще более усиливающих петрографическую мозаичность поверхности угля. Наличие разнообразных примесей, неупорядоченность атомов углерода, валентная ненасыщенность некоторых атомов углерода и кислорода, присутствие кислородсодержащих групп и свободных радикалов на поверхности угля сообщает ей энергетическую неоднородность [2]. Данное обстоятельство создает предпосылки для применения как аполярных, так и гетерополярных реагентов.

Наличие гетерополярного реагента приводит к иному механизму закрепления аполярного реагента на окисленных и минерализованных поверхностях угольных частиц. В начале с поверхностью взаимодействуют молекулы гетерополярного реагента, располагаясь своей активной полярной группой на поверхности и ориентируясь аполярной ветвью в сторону воды, затем по аполярным концам гетерополярных молекул закрепляется аполярный реагент.

Таким образом, одновременное применение аполярных и гетерополярных реагентов позволяет повысить эффективность флотации благодаря следующим факторам:

- 1) избирательная подготовленность поверхности частиц одного из минералов к преимущественному прилипанию к пузырькам;
- 2) подготовленность поверхности частиц остальных минералов к их неприлипанию к пузырькам;
- 3) подготовленность пузырьков к прочному закреплению прилипших частиц на их поверхности [3].

Для повышения эффективности реагентов — собирателей, традиционно используемых для флотации угля в Кузбассе, были исследованы химические добавки DASF различных модификаций AP — 1 ÷ AP-6 в зависимости от количества активных ингредиентов. Так, использование добавки AP-6 совместно с газойлем каталитического крекинга и коксования на ЦОФ «Березовская» позволило получить менее обводненную и легкоразрушаемую пену, при этом выход флотоконцентрата увеличился на 0,7%, расход реагента — собирателя уменьшился на 1054,5 г/т, снизилась влажность осадка фильтра на 1,5–2% и помимо этого стал возможен отказ от реагента — вспенивателя [2].

Использование в качестве реагента-модификатора водорастворимого сополимера метилметакрилата с метакриламидом и аммонийной солью метакриловой кислоты (дэман), строение гидрофобной части макромолекулы которого схоже со строением молекул триммеров изобутилена. Основное назначение данного модификатора заключается в повышении гидрофобности угольной поверхности, происходящем вследствие ориентации гидрофобной части его макромолекулы в жидкую фазу пульпы при взаимодействии адсорбционно-активных кислородсодержащих центров угольной поверхности с функциональными группами модификатора. Результаты флотации угольного шлама углеобогатительной фабрики «Сибирь» собирателем газойль с применением пенообразователя КОБС (0,06 г/т) показали, что использование модифика-

тора «дэман» в количестве 0,1 г/т твердого позволяет при равном расходе собирателя повысить выход концентрата на 0,8–5,3%, а также снизить расход собирателя на 11–13% при одинаковом выходе концентрата [4].

Использование сложных эфиров изомерного строения в качестве реагентов — модификаторов также позволяет повысить селективность флотации газовых углей, при этом наиболее эффективным является изоамилизобутират, использование которого совместно с ВКП позволяет повысить выход концентрата на 3,15% (кузнецкий уголь) и 2,79% (донецкий уголь) и снизить зольность концентрата на 1,60% и 1,45% по сравнению с индивидуальным использованием реагента ВКП. Наличие изомерии в структуре сложных эфиров способствует увеличению специфической компоненты межмолекулярного взаимодействия их молекул с угольными частицами, что создаёт возможность специфического закрепления энергетически активного водорода на отрицательных сорбционных центрах угольной поверхности [5, 6, 7].

**Наряду с использованием в качестве реагентов — модификаторов органических соединений, возможно**

**применение неорганических солей. В частности, изучение влияния сульфатов на физико-химические и флотационные свойства газовых углей показывает, что их применение позволяет не только улучшить качественно-количественные показатели флотации, но и повысить извлечение серы в отходы флотации. Данное обстоятельство обусловлено депрессией пиритсодержащих примесей углей за счет повышения гидратированности их поверхности благодаря образованию водородных связей между координированными молекулами воды гидроксоаквакомплексов катионов исследуемых солей и молекулами воды жидкой фазы пульпы [8, 9].**

Таким образом, интенсификация флотационного обогащения на современном этапе развития возможна благодаря разработке новых реагентных режимов, предполагающих использование реагентов — модификаторов угольной поверхности, которые позволят улучшить технико-экономические показатели флотации как за счет повышения извлечения ценного компонента в концентрат, так и благодаря сокращению времени флотации.

#### Литература:

1. Гиззатов, А. А., Ибрагимов А. А., Давлетгареев К. Ф., Рахимов М. Н. Разработка флотационных реагентов для процесса обогащения высокозольных углей // Башкирский химический журнал. — 2013. — т. 20. — № 4. — с. 86–89.
2. Меркушева, Л. Н., Удовицкий В. И., Лысенко О. Н., Фролов В. С., Кравцова Т. А. Технологические и экономические предпосылки применения новых реагентов на ЦОФ «Березовская» // ГИАБ. — 2003. — № 12. — с. 196–198.
3. Мелик-Гайказян, В. И., Емельянова Н. П., Козлов П. С., Юшина Т. И., Липная Е. Н. К исследованию процесса пенной флотации и подбору реагентов на основе механизма их действия. Сообщение 1. Обоснование выбранных методов исследования процесса // Обогащение руд цветных металлов. — 2009. — № 2. — с. 7–18.
4. Лавриненко, А. А., Сирченко А. С. Повышение эффективности действия собирателей при флотации углей // ГИАБ. — 2008. — № 3. — с. 70–72.
5. Аглямова, Э. Р., Савинчук Л. Г. Способ флотации угля // патент на изобретение RUS 2165799. 23.11.1999.
6. Аглямова, Э. Р. Повышение селективности флотации газовых углей с применением органических и неорганических соединений // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Магнитогорск, 2002.
7. Чупрова, Л. В., Муллина Э. Р., Мишурина О. А. Влияние органических и неорганических соединений на флотацию углей низкой стадии метаморфизма // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 4. с. 24; URL: <http://www.science-education.ru/110-9663> (дата обращения: 04.05.2015).
8. Муллина, Э. Р., Чупрова Л. В., Мишурина О. А. Исследование влияния химических соединений различного состава на процесс флотации газовых углей // Сборник научных трудов Sworld. — 2013. — Т. 12, № 3. — с. 4–8
9. Муллина, Э. Р., Мишурина О. А., Чупрова Л. В. Изучение влияния неорганических солей на извлечение серосодержащих примесей при флотации углей низкой стадии метаморфизма // Технические науки — от теории к практике. 2013. № 22. С.64–69.

## Влияние армирования основания на внутренние усилия в модели гибкого фундамента

Хрянина Ольга Викторовна, кандидат технических наук, доцент;  
Белый Анатолий Александрович, студент  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*Проведены экспериментальные исследования модели гибкого фундамента в условиях плоской деформации на естественном основании и с введением армирующих прослоек. Выявлены зависимости внутренних усилий в фундаменте от жесткости основания под краем фундамента, за счет введения геотекстиля. Показана возможность использования определенных технологических приемов с целью управления распределением усилий в модели гибкого фундамента.*

**Ключевые слова:** армирование, геотекстиль, основание, гибкий фундамент.

Целью экспериментальной оценки влияния степени и способа армирования грунтов на деформации гибких фундаментов и грунтов основания проведены исследования с моделью гибкого фундамента в условиях плоской деформации в малом поворотном лотке с размерами 1,4\*0,8\*0,475 м. Стенки лотка были выполнены светопрозрачными из оргстекла толщиной 20 мм для наблюдения за деформациями песчаного основания. Для исключения распора боковых стенок от давления грунта они усилены металлическими уголками. В опытах использована модель гибкого фундамента шириной  $b = 0,45$  м и длиной  $l = 0,475$  м, выполненная из листовой стали марки ВСт 3пс6 толщиной  $h = 0,0021$  м и гибкостью  $t = 1757$ . Прочность стали оценивалась величиной предела текучести, который для стали марки ВСт 3пс6 равен 240 МПа [1].

Нагрузка на фундамент прикладывалась пневматически через загрузочный шток и жесткую траверсу, который устанавливался на оси симметрии модели фундамента. Нагрузка прикладывалась ступенями  $N = 0,25$  кН до 6,25 кН (начало образования пластических деформаций в материале модели фундамента). Каждая ступень нагрузки выдерживалась во времени в течение 15 минут для стабилизации деформации песчаного основания.

Для измерения деформаций, определения напряжений в модели гибкого фундамента, а затем и изгибающего мо-

мента, на поверхности модели наклеивались тензорезисторы марки КФ-5—400 [2]. Напряжения в конструкции модели фундамента определялись через измеренные значения деформации и модуль упругости стали, равный  $E = 2 \cdot 10^8$  кПа. Расположение тензорезисторов на модели гибкого фундамента показано на рис. 1. Измерения перемещений модели гибкого фундамента и поверхности песчаного основания проводились индикаторами часового типа ИЧ-10.

Основанием служил песок морской кварцевый охристый, средней крупности из карьера п. Городище Пензенской области, гранулометрический состав определен ситовым методом с промывкой водой в соответствии с ГОСТ 12536—79 (рис. 2).

Песчаное основание создавалось в лотке путем равномерной отсыпки песка в воздушно-сухом состоянии слоями по 2 см с постоянной высотой 30 см [3]. Это позволило создать однородную укладку песка в массиве основания при коэффициенте пористости  $e = 0,62$ . В результате среднее значение плотности песка составило 16,2 кН/м<sup>3</sup>. Согласно [4], данное основание из мелкого песка относится к категории средней плотности. Плотность основания контролировали взвешиванием с определением удельного веса и коэффициента пористости режущим кольцом. В процессе укладки песка на определенном уровне размещались армирующие сетки.

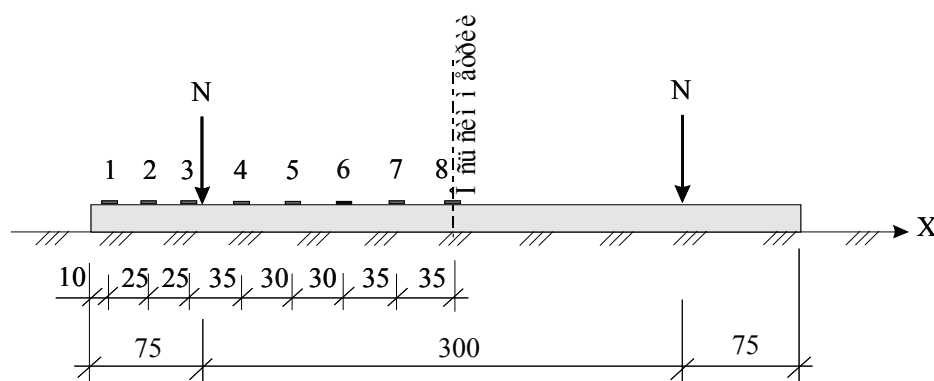


Рис. 1. Схема нагружения и расположения тензорезисторов

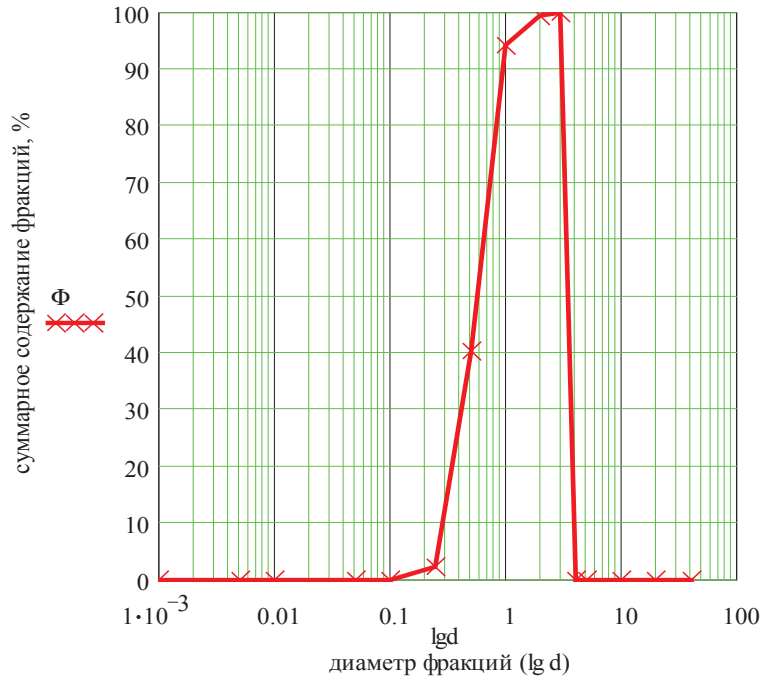


Рис. 2. Интегральная кривая гранулометрического состава

Рассмотрены два случая. В первом случае используется основание в естественном состоянии. Во втором случае, в песчаный грунт под консолью фундамента, введен геотекстиль (рис. 3). Ширина сетки,  $B_s$ , принималась равной 11 см при одноярусном заложении (рис. 3 а)

и 21 см при одно- и двухъярусном заложении сетки (рис. 3 б, в), на глубине равной 0,035 ширины фундамента  $b$ . В дальнейшем основание без армирования будем называть «естественным основанием», а основание с армированием — «усиленным основанием» [5].

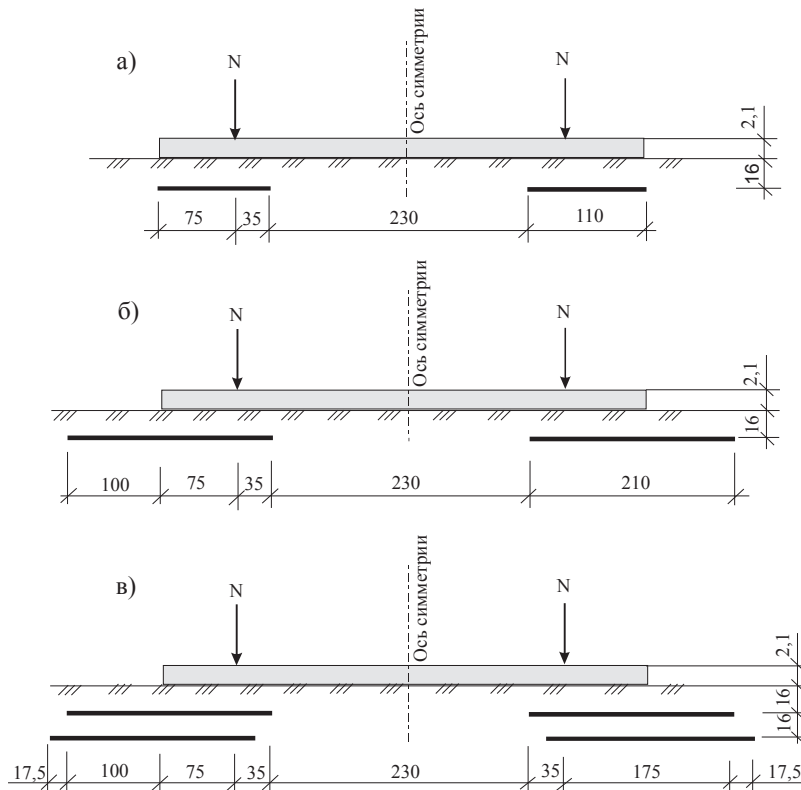


Рис. 3. Схема расположения геосеток

Нагрузка на фундамент прикладывалась ступенями  $N = 0,25$  кН до 6,25 кН (начало образования пластических деформаций в материале модели фундамента).

Сравнение эпюр изгибающих моментов (рис. 4, 5) модели гибкого фундамента на естественном и усиленном основаниях, при упругой работе грунта основания (рис. 4), показывает похожий характер их развития, однако введение одного ряда сеток практически не приводит к уменьшению значений изгибающего момента на краях

фундамента, хотя в центральном пролете произошло уменьшение значений изгибающего момента в 2 раза для сетки  $B_s = 11$  см и в 1,5 раза для сетки  $B_s = 21$  см. Введение второго ряда сеток шириной 21 см приводит к уменьшению значений изгибающего момента на консолях в 10 раз и росту его в месте приложения внешней нагрузки в 4,8 раза по сравнению с однорядным расположением сетки  $B_s = 21$  см. Для сетки  $B_s = 11$  см в месте приложения силы момент незначителен.

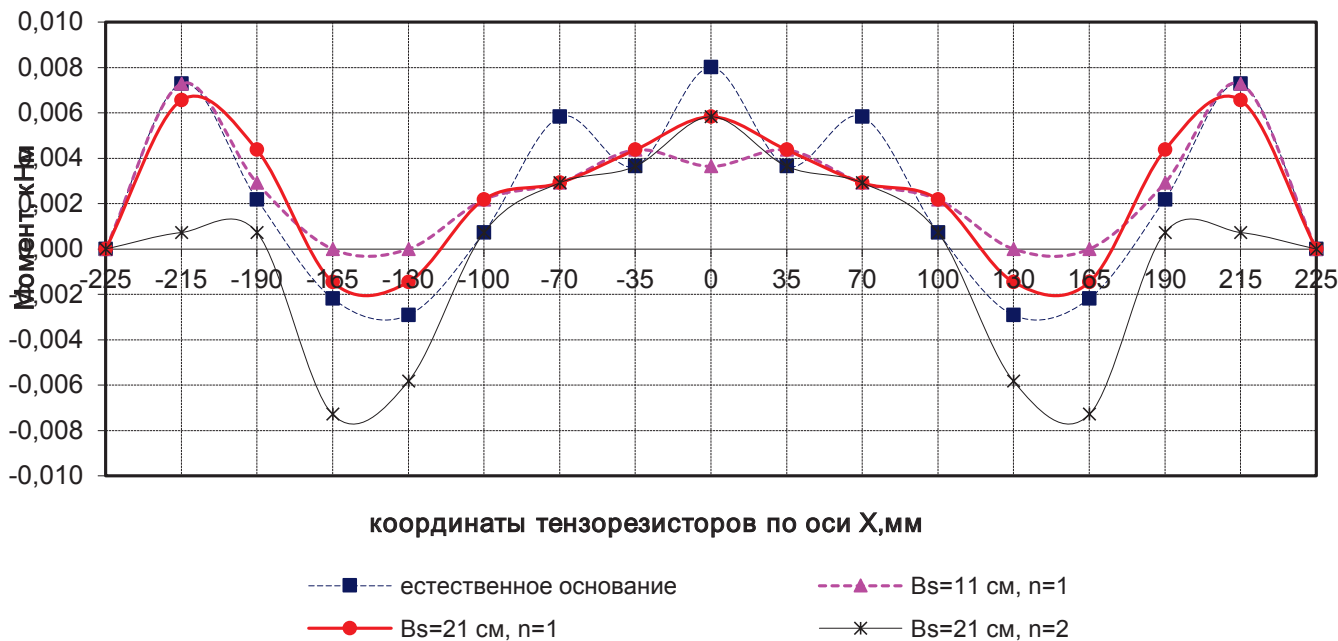


Рис. 4. Эпюры изгибающих моментов при нагрузке  $N = 0,25$  кН

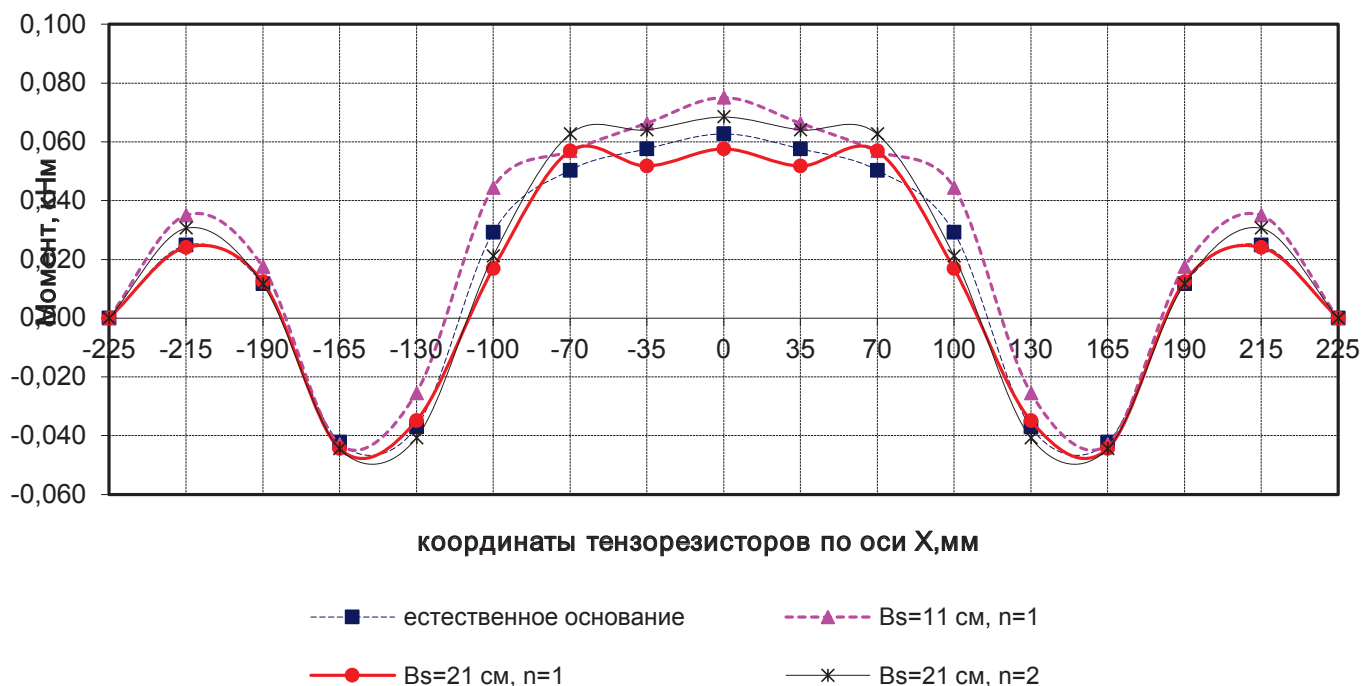


Рис. 5. Эпюры изгибающих моментов при нагрузке  $N = 6,25$  кН

В процессе нагружения (рис. 5) при нагрузках на стадии образования областей сдвига произошло возрастание значений изгибающих моментов в центральном пролете для естественного основания в 7,8 раз, для усиленного с сеткой  $B_s = 11$  см в 20 раз, для сетки  $B_s = 21$  см в 10 раз, для двухъярусного расположения сеток  $B_s = 21$  см в 12 раз. На консолях в процессе нагружения также произошло возрастание моментов почти в 4 раза, а в месте приложения силы — в 5 раз и более.

Теоретические исследования [6..8] и выполненный эксперимент позволяет сделать вывод о зависимости внутренних усилий в фундаменте от жесткости основания под краем фундамента, за счет введения геотекстиля, и показывает на возможность использования определенных технологических приемов с целью управления распределением усилий в модели гибкого фундамента.

#### Литература:

1. Хрянина, О. В. Экспериментально-теоретическая оценка совместной работы конструкции гибкого фундамента с армированным основанием [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / О. В. Хрянина. — Пенза, 2005. — 236 с.
2. Мельников, А. В. Прочность и деформируемость слабых грунтов оснований, усиленных армированием [Текст]: монография / А. В. Мельников, О. В. Хрянина, С. А. Болдырев. — Пенза: ПГУАС, 2014. — 176 с. — 500 экз. — ISBN 978-5-9282-1039-7.
3. Хрянина, О. В. Методика подготовки образцов-близнецов песчаного грунта / О. В. Хрянина // Вопросы планировки и застройки городов: сб. науч. ст. — Пенза, 2002. — с. 144–146.
4. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости [Текст]: ГОСТ 12248–2010. — Взамен ГОСТ 12248–96; введ. 01.01. 2012.
5. Болдырев, Г. Г., Хрянина, О. В. Оценка влияния эффекта армирования на напряженно-деформированное состояние песчаного основания / Г. Г. Болдырев, О. В. Хрянина // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2003. — № 1 (7). — с. 222–225.
6. Болдырев, Г. Г., Хрянина, О. В. Армирование оснований гибких фундаментов / Г. Г. Болдырев, О. В. Хрянина // Геотехнические проблемы строительства крупномасштабных и уникальных объектов: сб. науч. ст. — Алматы, 2004.
7. Болдырев, Г. Г., Хрянина, О. В. Экспериментально-теоретические исследования взаимодействия гибкого фундамента с армированным основанием / Г. Г. Болдырев, О. В. Хрянина // Строительство и реконструкция деревянных жилых домов: сб. науч. ст. — Архангельск, 2002.
8. Болдырев, Г. Г., Хрянина, О. В. Армирование грунта с целью выравнивания прогиба ленточного фундамента / Г. Г. Болдырев, О. В. Хрянина // Актуальные проблемы современного строительства: сб. науч. ст. — Пенза, 2001.

## Прочность и деформируемость армированных песчаных грунтов в условиях трехосного сжатия

Хрянина Ольга Викторовна, кандидат технических наук, доцент;  
Белый Анатолий Александрович, студент  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

*Проведены экспериментальные исследования с образцами песчаного грунта в естественном состоянии и с введением армирующих прослоек в приборе трехосного сжатия. Выявлены закономерности увеличения параметров прочности и уменьшения деформируемости песчаного грунта в зависимости от количества армирующих прослоек.*

**Ключевые слова:** армирование, трехосное сжатие, прочность, деформируемость.

Консолидировано-дренированные испытания проводились в приборе трехосного сжатия [1] — по схеме стандартного трехосного сжатия согласно ГОСТ 12248–2010 [2] при всесторонних давлениях  $\sigma_2 = \sigma_3 = \text{const} = 0,1; 0,2; 0,3$  МПа на образцах песчаного грунта диаметром  $38,0 \pm 0,1$  мм и высотой 80 мм, с коэффициентом по-

ристости песка  $e = 0,624$ . Нагружение осуществлялось через жесткие штампы с фторопластовыми фильтрами и с введением по ним слоя силиконовой смазки. Вертикальное давление на образец передавали ступенями, равными 5–10% заданного всестороннего давления в камере [3].



Испытания проводились по двум схемам. В первом случае испытывался грунт в естественном состоянии. Во втором — в образец перпендикулярно оси действия вертикальной нагрузки вводили синтетическую сетку с размером ячеек 1\*1 мм. В опытах варьировалось количество сеток  $n$  по высоте образца и расстояние между ними (рис. 1). Образцы — близнецы готовились объемным методом [4]: навеска песка высыпается из воронки с выходным диаметром равным 0,8 см в специальную форму, которая устанавливается на нижнем основании камеры трехосного сжатия.

Характер деформирования естественного песчаного грунта в условиях трехосного сжатия изменяется с ростом

нагрузки. До деформации  $\epsilon_1 = 10\%$  имеет место однородный характер деформирования, при последующем нагружении наблюдается возникновение неоднородной деформации с локализацией деформаций в пределах узкой полосы.

При деформировании песка, армированного в одном, двух-, трех уровнях по высоте образцов, наблюдается нарушение контактного взаимодействия армирующих сеток с песком и его выдавливание между крайними армирующими прослойками, так как показано на рис. 2, что объясняется более высокой прочностью армирующих прослоек на сдвиг по сравнению с контактным взаимодействием частиц песка [5].

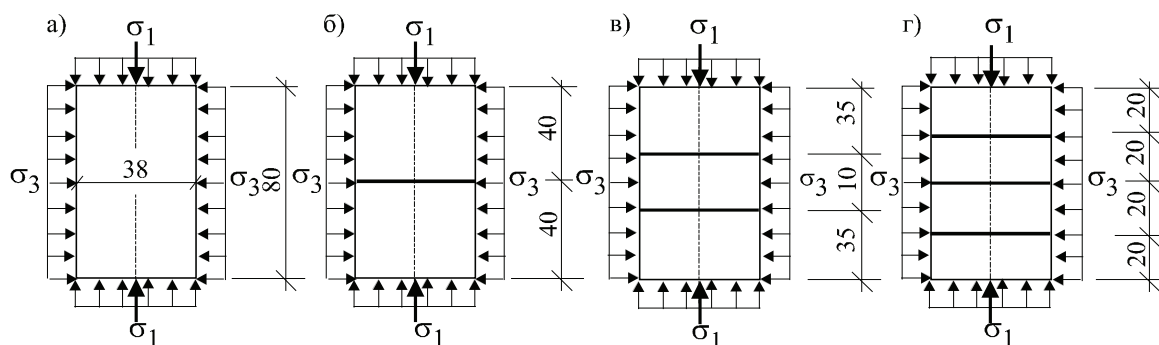


Рис.1. Схема размещения армирующих прослоек в образце: а)  $n = 0$ ; б)  $n = 1$ ; в)  $n = 2$ ; г)  $n = 3$

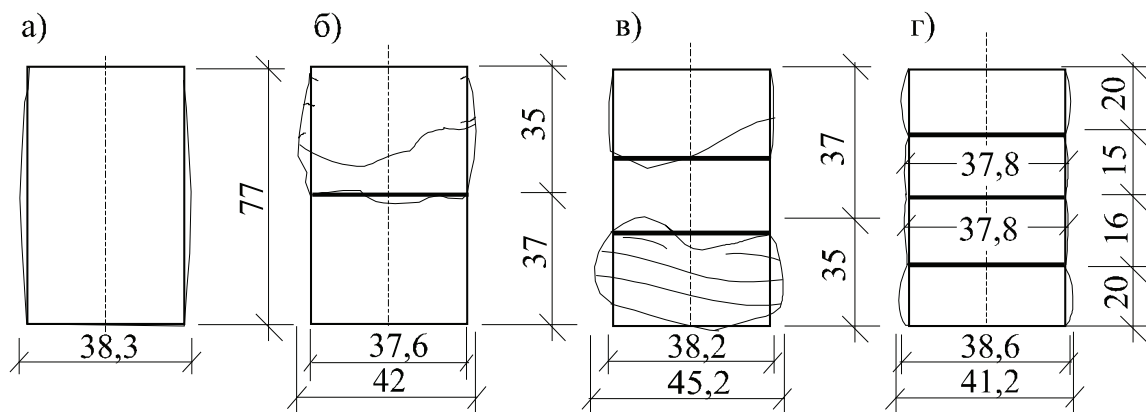


Рис. 2. Характерные схемы разрушения образцов песчаного грунта при армировании синтетической сеткой а)  $n = 0$ ; б)  $n = 1$ ; в)  $n = 2$ ; г)  $n = 3$

На рис. 3. представлены результаты испытаний песчаного грунта, полученные при различных значения бокового давления и равной начальной плотности образцов песка. Видно существенное влияние армирующих прослоек на прочность и деформируемость песка [6, 7] (рис.4, 5).

В результате выполненных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. При трехрядном армировании в приборе трехосного сжатия угол внутреннего трения песка возрастает на 5 градусов по сравнению с неармированным песком. При этом предельная нагрузка в 4 раза более значения предельной нагрузки песка в естественном состоянии.

2. При включении одной армирующей прослойки угол внутреннего трения не изменяется, но в песке появляется сцепление, что обусловлено работой армирующих прослоек.

3. С увеличением количества армирующих прослоек в приборе трехосного сжатия угол внутреннего трения увеличивается от  $36,8$  до  $42^\circ$ , удельное сцепление — от 0 до 50 кПа.

4. Графики  $\sigma_1 = f(\epsilon_1)$  имеют линейный начальный участок характерный как для всех видов армирования, так и для неармированного грунта. Предел пропорциональности увеличивается с ростом степени армирования.

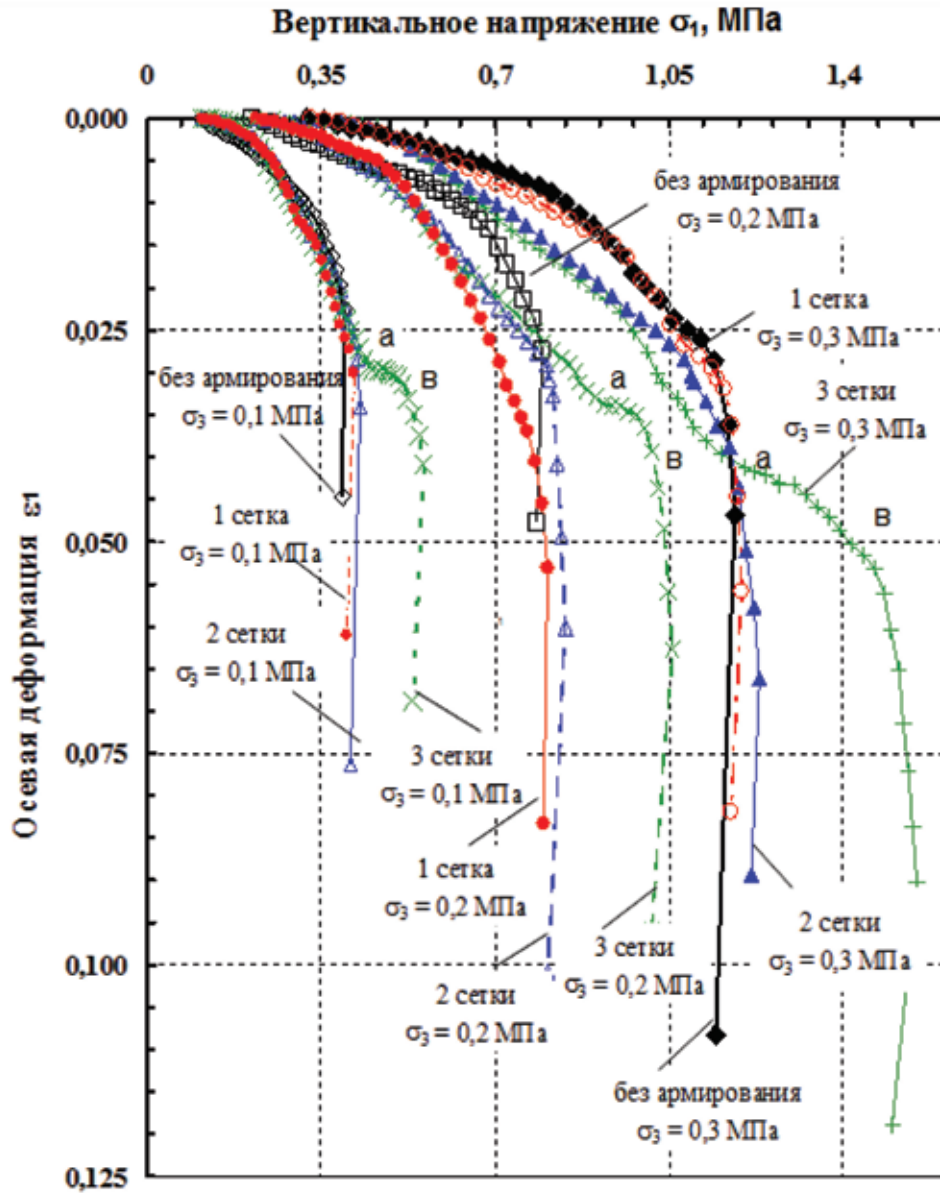


Рис. 3. Зависимости  $\sigma_1 = f(\epsilon_1)$  для армированного синтетической сеткой и неармированного песка при испытаниях при  $\sigma_3 = 0,1; 0,2; 0,3$  МПа

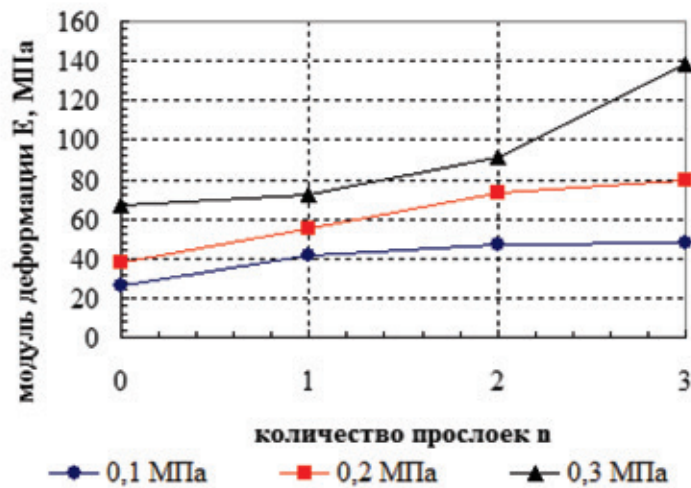


Рис. 4. Зависимость модуля деформации E от количества прослоек n

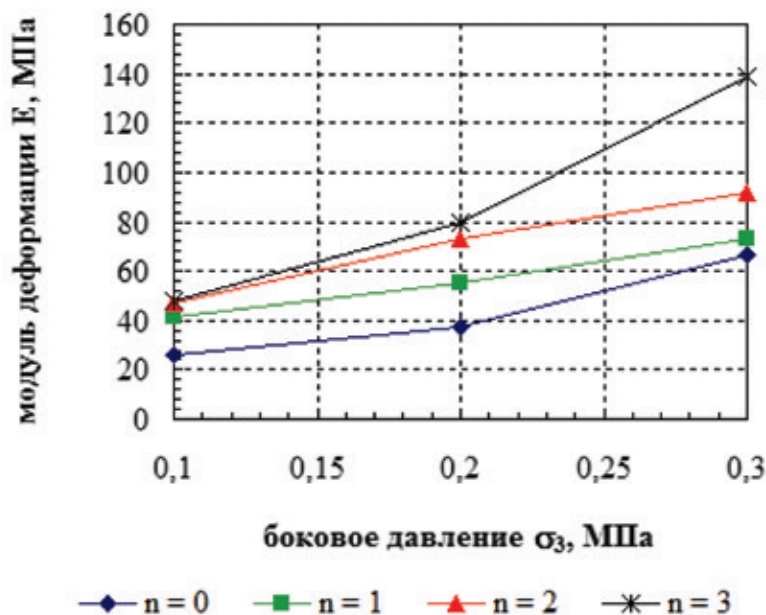


Рис. 5. Зависимость модуля деформации E от бокового давления  $\sigma_3$ , МПа

5. Выявлено уменьшение деформируемости песка, зависящее от степени армирования образцов.

6. На начальном линейном участке при возрастании бокового давления в три раза, модуль деформации (рис.4, 5) возрастает для неармированного грунта в 2,5 раза. Та же тенденция наблюдается и для грунта, армированного по высоте сетками: для одно- и двухрядного армирования

модуль деформации возрастает в 1,8 ÷ 1,9 раз; для трехрядного — в 2,9 раза.

Для образцов, армированных в трех уровнях по высоте, наблюдаются скачки приращения вертикальных деформаций (участок а — в на рис. 3) в допредельном состоянии, что можно объяснить упрочнением за счет увеличения контактного взаимодействия грунта и прослоек.

Литература:

1. Устройство трехосного сжатия СТП-80/38 [Текст]: пат. RUS 64648 Рос. Федерация / Болдырев Г.Г., Идрисов И.Х., Болдырева Е.Г.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Геотек» (ООО «Геотек»). — № 2006504282; заявл. 25.12.2006.
2. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости [Текст]: ГОСТ 12248–2010. — Взамен ГОСТ 12248–96; введ. 01.01. 2012.
3. Хрянина, О. В. Экспериментально-теоретическая оценка совместной работы конструкции гибкого фундамента с армированным основанием [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / О. В. Хрянина. — Пенза, 2005. — 236 с.
4. Хрянина, О. В. Методика подготовки образцов-близнецов песчаного грунта / О. В. Хрянина // Вопросы планировки и застройки городов: сб. науч. ст. — Пенза, 2002. — с. 144–146.
5. Мельников, А. В. Прочность и деформируемость слабых грунтов оснований, усиленных армированием [Текст]: монография / А. В. Мельников, О. В. Хрянина, С. А. Болдырев. — Пенза: ПГУАС, 2014. — 176 с. — 500 экз. — ISBN 978–5–9282–1039–7.
6. Хрянина, О. В. Изменение напряженного состояния грунтов основания введением в него армирующих элементов [Текст] / О. В. Хрянина, Г. Г. Болдырев // Современные проблемы фундаментостроения: сб. науч. тр. — Волгоград, 2001. — с. 96–97.
7. Хрянина, О. В. О соотношении параметров прочности армированных песчаных грунтов при срезе и трехосном сжатии [Текст] / О. В. Хрянина // Актуальные проблемы проектирования и устройства оснований и фундаментов зданий и сооружений: сб. науч. тр. — Пенза, 2004. — с. 211–214.

### Прочность армированных песчаных грунтов в условиях одноплоскостного среза

Хрянина Ольга Викторовна, кандидат технических наук, доцент;  
 Пономарева Татьяна Владимировна, магистр  
 Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Проведены экспериментальные исследования с образцами песчаного грунта в естественном состоянии и с введением армирующих прослоек в приборе одноплоскостного среза. Выявлены закономерности увеличения угла внутреннего трения и удельного сцепления в зависимости от количества армирующих прослоек.

**Ключевые слова:** армирование, одноплоскостной срез, параметры прочности

Испытания проводились на сдвиговом приборе [1] в соответствии с ГОСТ 12248–2010 [2] по методу консолидированно-дренированного среза при нормальных давлениях 0,1; 0,2; 0,3 МПа на образцах песчаного грунта с коэффициентом пористости  $e = 0,619$ .

Испытания проводились по двум схемам. В первом случае испытывался грунт с естественной структурой (неармированный). Во втором — в образец перпендикулярно плоскости среза вводился армирующий материал [3]. В качестве армирующего материала была использована стеклосетка с размером ячеек 1×1 мм (ТУ 6–48–00204961). В опытах варьировалось количество сеток. Сетки вводились вертикально в камеру сдвигового прибора, перпендикулярно к плоскости среза [4]. План размеще-

ния армирующих прослоек в образце представлен на рис. 1.

Подготовка образцов — близнецов проводилась объемным методом непосредственно в камере сдвигового прибора. Навеска песка высыпается из воронки с выходным диаметром равным 0,8 см. Плотность  $\rho = 1,618 \text{ г/см}^3$ , достигаемая этим способом, зависит от высоты падения частиц песка  $h = 50 \text{ см}$ . Для обеспечения однородной плотности по высоте образца необходимо поднимать воронку со скоростью равной скорости падения частиц так, чтобы высота падения частиц песка была одинаковой [5].

На рис. 2 показаны графики зависимости  $\sigma - \tau$ , полученные по результатам испытаний в условиях одноплоскостного среза.

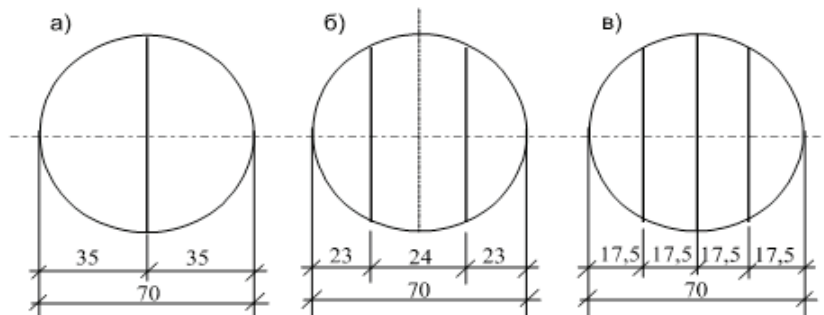


Рис. 1. План размещения армирующих прослоек в образце при одноплоскостном срезе а)  $n = 1$ ; б)  $n = 2$ ; в)  $n = 3$

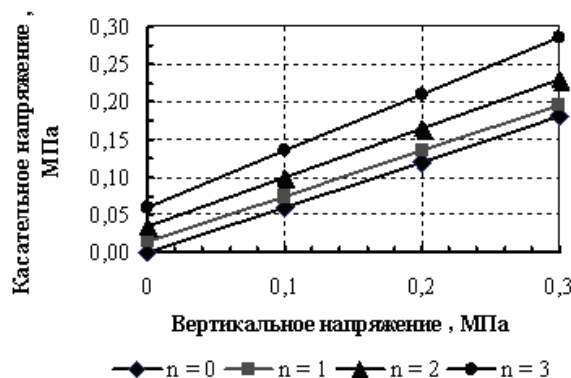


Рис. 2. Зависимости  $\sigma - \tau$  при одноплоскостном срезе



Рис. 3. Зависимость угла внутреннего трения  $\phi$  от количества прослоек  $n$



Рис. 4. Зависимость сцепления  $c$  от количества прослоек  $n$

Таблица 1. Результаты испытаний при сдвиге и расчетные значения  $\phi$  и  $c$

Сетки, n	$\sigma$ , МПа	$\tau$ , МПа	$\text{tg } \phi$	$\phi$ , град	$c$ , МПа
1 сетка	0,1	0,075	0,60	30,96	0,015
	0,2	0,135	0,60		
	0,3	0,195	0,60		
2 сетки	0,1	0,100	0,65	33,02	0,035
	0,2	0,165	0,65		
	0,3	0,230	0,65		
3 сетки	0,1	0,135	0,75	36,87	0,060
	0,2	0,210	0,75		
	0,3	0,285	0,75		
Без армирования	0,1	0,060	0,60	30,96	0,000
	0,2	0,120	0,60		
	0,3	0,180	0,60		

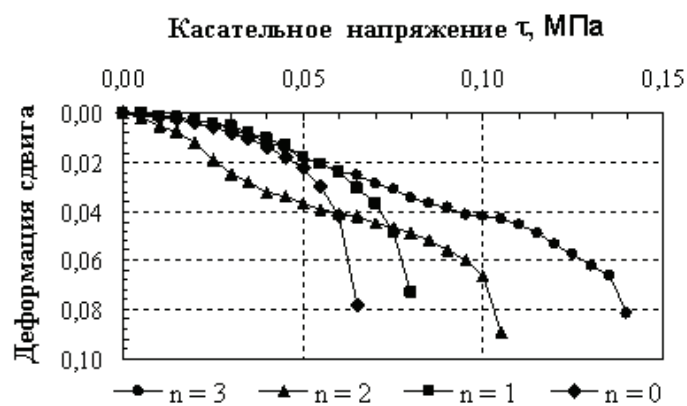


Рис. 5. Зависимость  $\gamma = f(\sigma)$  при  $\sigma = 0,10$

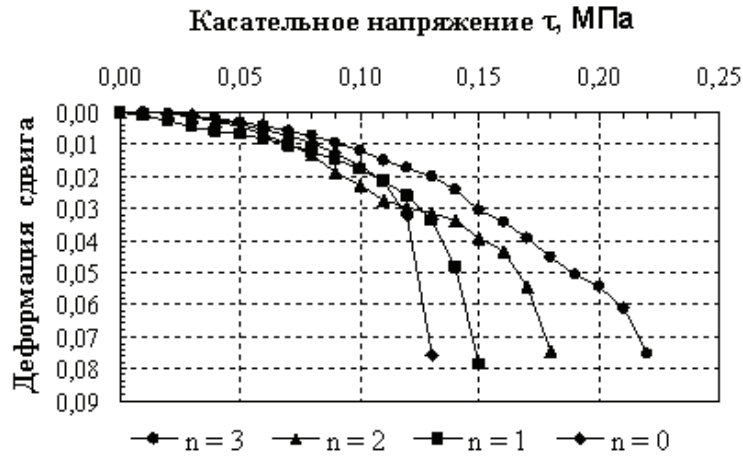


Рис. 6. зависимость  $\gamma = f(\sigma)$  при  $\sigma = 0,20$



Рис. 7. зависимость  $\gamma = f(\sigma)$  при  $\sigma = 0,30$



Рис. 8. Зависимость  $\gamma = f(\sigma)$  при количестве сеток  $n = 1$  и  $\sigma = 0,1; 0,2; 0,30$

Если условие прочности для песка в естественном состоянии (зависимость 1, рис. 2) имеет вид  $\tau = \sigma \cdot \text{tg} \phi$ , то с введением армирующих прослоек условие прочности приобретает вид  $\tau = \sigma \cdot \text{tg} \phi + c$ , т.е. в условии прочности появляется второй член, который принято называть силами удельного сцепления. Эффект сцепления об-

условлен в данном случае работой в грунте армирующих прослоек. С увеличением количества армирующих прослоек угол внутреннего трения увеличивается на  $6^\circ$  и сцепление возрастает от 0 до 60 кПа (табл. 1, рис. 3, 4). Синтетическая сетка при сдвиге изменяет свое положение, принимая волнистую форму. Из рис. 5–8 видно влияние

нормального давления и количества армирующих элементов на деформацию сдвига. Величина предельной деформации сдвига является функцией нормального давления и количества сеток.

Это обстоятельство необходимо учитывать в расчетах устойчивости оснований и фундаментов, т.к. оно может приводить к существенному изменению предельной нагрузки и расчетного сопротивления грунта.

Литература:

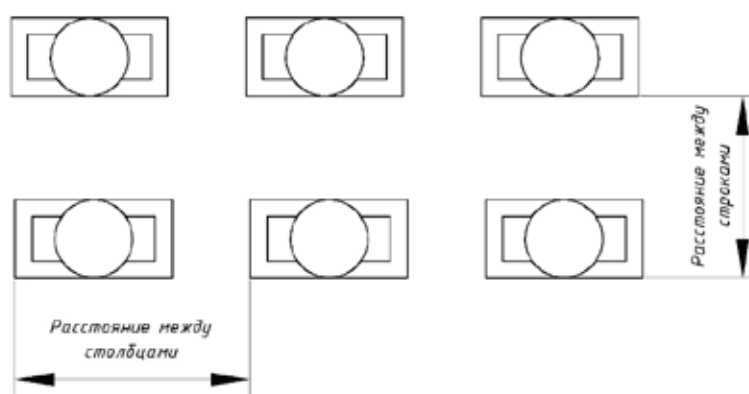
1. Сдвиговый прибор [Текст]: пат. RUS 2132545 Рос. Федерация: МПК6 G 01 N 3/24, E 02 D 1/00 / Болдырев Г.Г., Хрянина О.В.; заявитель и патентообладатель Пензенский гос. архитектурно — строительный ин-т. — № 96114564/03 (020790); заявл. 22.07.96; опубл. 27.06.99, Бюл. № 18. — 10 с.
2. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости [Текст]: ГОСТ 12248–2010. — Взамен ГОСТ 12248–96; введ. 01.01. 2012.
3. Хрянина, О.В. Экспериментально-теоретическая оценка совместной работы конструкции гибкого фундамента с армированным основанием [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / О.В. Хрянина. — Пенза, 2005. — 236 с.
4. Мельников, А.В. Прочность и деформируемость слабых грунтов оснований, усиленных армированием [Текст]: монография / А.В. Мельников, О.В. Хрянина, С.А. Болдырев. — Пенза: ПГУАС, 2014. — 176 с. — 500 экз. — ISBN 978–5–9282–1039–7.
5. Хрянина, О.В. Методика подготовки образцов-близнецов песчаного грунта / О.В. Хрянина // Вопросы планировки и застройки городов: сб. науч. ст. — Пенза, 2002. с. 144–146.

## Размножение объектов массивом в системе моделирования AutoCAD

Худжакулова Дилбар Джуракуловна, преподаватель  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Массивирование — это есть копирование и вставка объектов по определенным условиям. При работе в системе AutoCAD объекты можно копировать, упорядоченно располагая копии по окружности (круговой массив) или в узлах прямоугольного массива.

Для прямоугольных массивов задается количество рядов и столбцов, а также расстояние между ними. Размножение массивом является более быстрым методом для создания нескольких копий объекта с заданным интервалом, чем выполнение обычного копирования.



Рассмотрим создание прямоугольного массива путем размножения выбранных элементов с заданным количеством рядов и столбцов, образующих прямоугольную матрицу.

Если в массиве только один ряд, необходимо задать более одного столбца. Если задать большое количество строк и столбцов, построение массива может занять некоторое время. По умолчанию максимальное число эле-

ментов массива, построенного одной командой, равно 100000.

Если в массиве только один столбец, необходимо задать более одного ряда. Если задать большое количество строк и столбцов, построение массива может занять некоторое время. По умолчанию максимальное число элементов массива, построенного одной командой, равно 100000.

Расстояние и направление смещения обеспечивает пространство для задания пользователем расстояния и направления смещения массива.

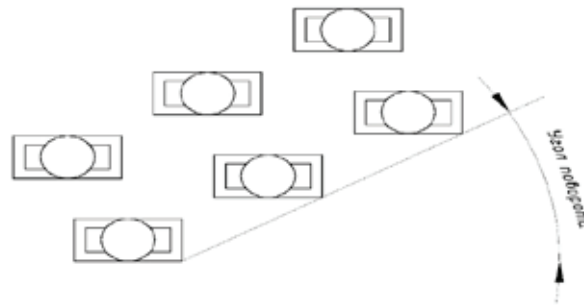
Расстояние между рядами (в единицах чертежа). Для добавления рядов вниз необходимо задать отрицательное расстояние. Для задания расстояния между рядами с помощью устройства указания следует воспользоваться кнопкой «Указать оба расстояния» или кнопкой «Указать расстояние между рядами».

Задание расстояния между столбцами (в единицах чертежа). Для добавления столбцов влево необходимо за-

дать отрицательное значение. Для задания расстояния между столбцами с помощью устройства указания следует воспользоваться кнопкой «Указать оба расстояния» или кнопкой «Указать расстояние между столбцами».

Задание угла поворота массива. Угол вращения обычно равен нулю, так что строки и столбцы взаимно перпендикулярны и располагаются вдоль осей чертежа X и Y в текущей пользовательской системе координат.

**Указать расстояние между рядами.** Временное закрытие диалогового окна для задания расстояния между рядами непосредственно на экране. С помощью команды



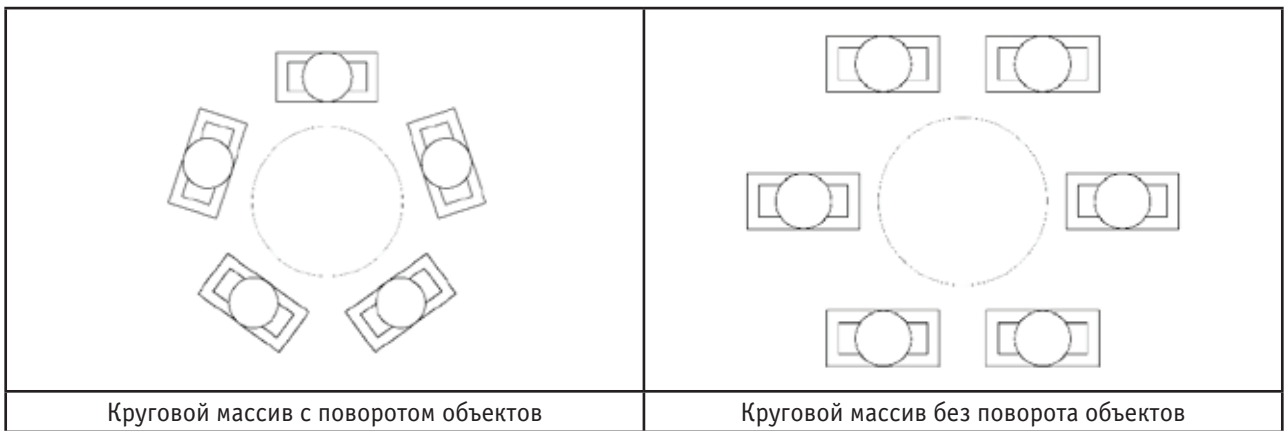
МАССИВ программа запрашивает две точки, которые определяют расстояние между рядами и их направление.

**Указать расстояние между столбцами.** Временное закрытие диалогового окна для задания расстояния между рядами непосредственно на экране. С помощью команды МАССИВ программа запрашивает две точки, которые определяют расстояние между столбцами и их направление.

**Указать угол поворота массива.** Временное закрытие диалогового окна «Массив» для задания угла поворота массива на экране. С помощью команды ЕДИНИЦЫ можно изменить параметры измерения углов.

**Создание круговых массивов.** Направление создания кругового массива (по часовой стрелке или против нее) определяется знаком (положительный или отрицательный) угла заполнения массива.

При генерации массива радиус определяется расстоянием от центра массива до опорной или базовой точки на последнем выбранном объекте. Для создания массива может использоваться текущая опорная точка, обычной совпадающая с точкой привязки, или новая указанная базовая точка, которая в дальнейшем используется в качестве опорной точки.



**Центр кругового массива.** Здесь можно ввести численные значения координат или, нажав «Указать центр массива», указать точку на экране. Закрывает на время диалоговое окно «Массив» для указания центральной точки непосредственно в области рисования.

**Выбор способа размножения объектов в круговом массиве.** Способ определяет, какие из полей группы «Способ и значения» будут доступны для ввода. Например, если выбран способ «Число элементов и угол заполнения», ввод значений разрешен только в соответствующие поля.



**Число элементов.** Число элементов в полученном массиве. По умолчанию используется значение 4.

**Угол заполнения.** Задание значения центрального угла между базовой точкой начального и конечного элементов массива. Положительное значение задает отсчет против часовой стрелки. Отрицательное значение задает отсчет по часовой стрелке. По умолчанию используется значение 360. Значение 0 не допускается и заменяется на значение по умолчанию.

Литература:

1. Полещук, Н. Н., Савельева В. А. Самоучитель AutoCAD 2007. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
2. <http://docs.autodesk.com/ACD/2013/RUS/index.html?url=files/GUID-661CF0F1-F856-47E6-9604-D436F47CA70A.htm,topicNumber=d30e237149>

**Угол между элементами.** Задание центрального угла между базовыми точками соседних элементов и центром массива. Величина угла должна быть положительной. По умолчанию устанавливается значение 90.

Используя преимущества команды массив можно копировать и вставлять сложные объекты в процессе проектирования.

## Алгоритмы и машинные программы для исследования технологических процессов лесоперерабатывающих цехов: архитектура комплекс программы «ЦЕХ»

Чамеев Василий Владимирович, кандидат технических наук, доцент;

Якимович Сергей Борисович, доктор технических наук, доцент;

Ефимов Юрий Валерьевич, старший преподаватель;

Васильев Георгий Леонидович, аспирант

Уральский государственный лесотехнический университет

**А**налитический обзор имеющегося программного обеспечения для решения задач анализа и синтеза в лесоперерабатывающих цехах лесопромышленных предприятий позволяет выделить для практического применения комплекс-программу «ЦЕХ» [1,2,3]. В пользу выбора этой программы служат следующие аргументы:

- КП «ЦЕХ» разработана для цехов лесопромышленных предприятий по современной классификации относящейся к «среднему» бизнесу, и адаптация её к «малому» лесопилению требует минимального вмешательства;
- КП «ЦЕХ» разработана для исследования цехов Среднего Урала, в ней изначально учитывалась их специфичность;
- КП «ЦЕХ» многократно проверена при выполнении научно-исследовательских и хозяйственных работ, проведённых в различное время на кафедре ТОЛП УГЛТУ [4];
- КП «ЦЕХ» разработана на кафедре ТОЛП, имеет «открытые» файлы и доступна для расширения программ, внесения в них изменений и дополнений.

Последнее обстоятельство является самым весомым фактором для выбора рабочего инструмента для исследования, так как позволяет внести в программы изменения согласно существующей математической модели технологического процесса.

Подход, при котором активно используется методический, технологический, алгоритмический и программный задел, считается в настоящее время наиболее эффек-

тивным направлением для сокращения затрат и повышения качества программ и называется прототипированием [5].

В данной статье приведена архитектура комплекс-программы «ЦЕХ».

По области применения и социальному назначению КП «ЦЕХ» относится к продукции научно-технического применения [5].

В основу разработки КП «ЦЕХ» положено иерархическое построение сложных программ, позволяющее ограничить и локализовать на каждом из уровней соответствующие ему компоненты. По ГОСТ 19.101–77 компонентой называется программа, рассматриваемая как единое целое, выполняющая законченную функцию и применяемая самостоятельно или в составе комплекса. Комплекс-программой называется программа, состоящая из двух или более компонентов и (или) комплексов, выполняющих взаимосвязанные функции и применяемая самостоятельно или в составе другого комплекса.

На основании существующих этапов в исследовании и проектировании технологических процессов (рис 1), методологии построения математической модели лесоперерабатывающего цеха, разработанных математических моделей такими компонентами будут программы по определению параметров сырья, готовой продукции, показателей работы отдельных станков и всех станков в технологическом потоке лесоперерабатывающего цеха.



Рис. 1. Структура комплекс-программы «ЦЕХ»

\* — в зависимости от типа решаемых задач включаются различные ППП по обработке результатов моделирования, планирования экспериментов, оптимизации параметров технологического процесса, существующие и разработанные методики расчётов.

Функционирование компонент-программ и комплекс программы в целом осуществляется с помощью переменных или массивов информации, в которых накапливается и хранится исходная, промежуточная и результирующая информация. Переменные массивы, используемые многими компонентами в комплексе называют глобальными, а которые используются внутри одной компоненты — локальными [5].

Потоки информации в комплекс-программе «ЦЕХ» и в её компонентах приведены на рис. 2–5. Особенностью представленных структур компонент комплекса программ

«ЦЕХ», взаимодействие их с информационным обеспечением является их унификация и типизация, как в описании массивов информации, так и в построении компонент. Комплекс-программе «ЦЕХ» присущ ряд свойств, характерных всем иерархическим системам. Важнейшими из них являются: — вертикальная соподчинённость, заключающаяся в последовательном упорядоченном расположении взаимодействующих компонент, а также компонент верхних уровней от реакций на воздействия от функционирования компонент нижних уровней, информация о которых передаётся верхним уровням.

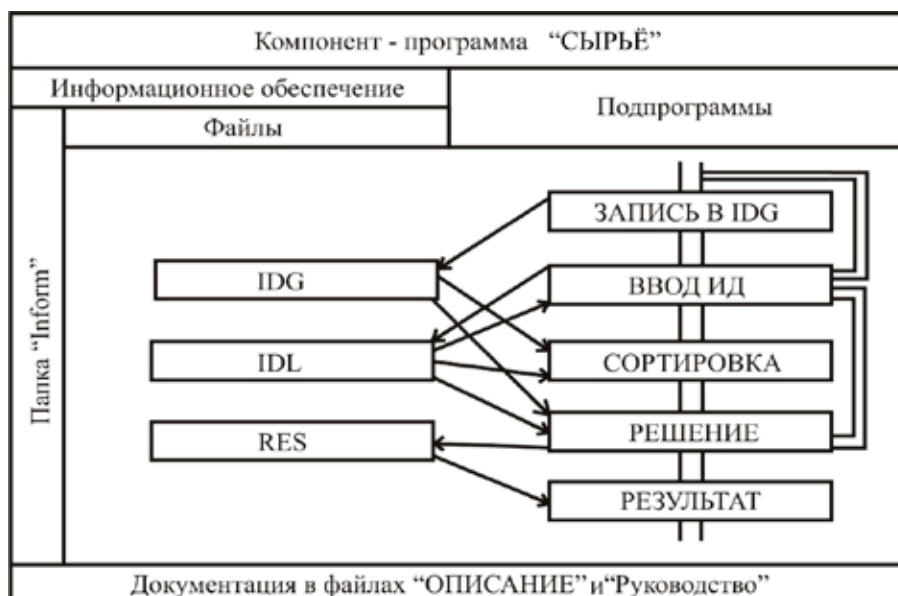


Рис. 2. Структура компонент-программы «СЫРЬЁ»

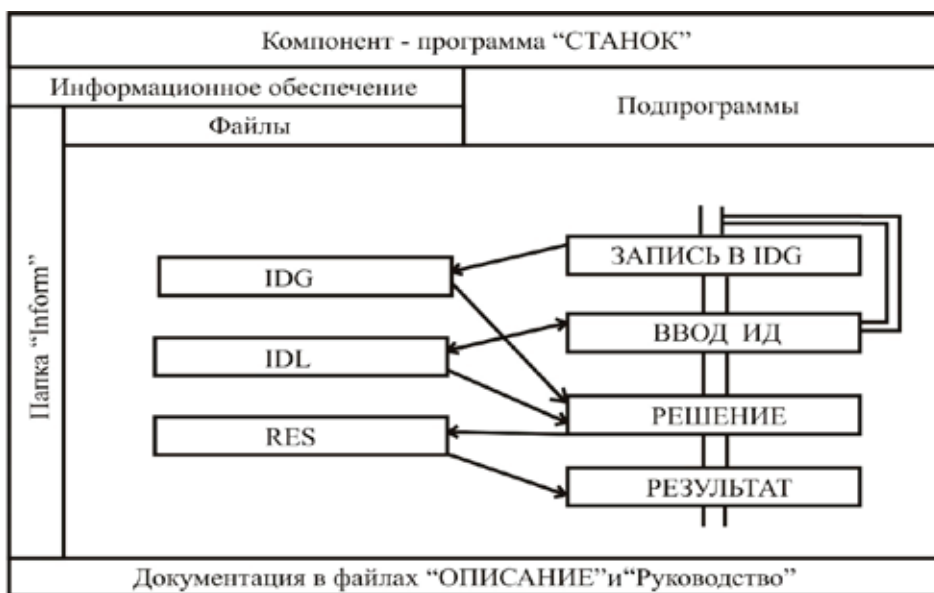


Рис. 3. Структура компонент-программы «СТАНОК»

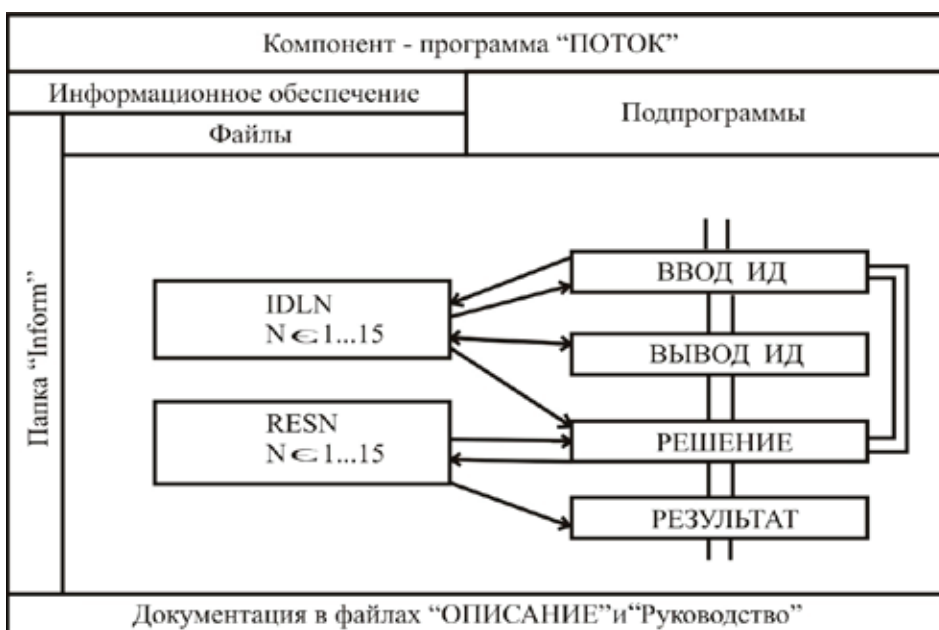


Рис. 4. Структура компонент-программы «ПОТОК»

Функциональное назначение компонент комплекс-программы «ЦЕХ». Компонент-программа «СЫРЬЁ» предназначена для определения статистик (среднее значение и среднее квадратическое отклонение) размерных параметров сортообразующих пороков (гнили, кривизны, сучков), сортового состава сырья.

Компонент-программа «СТАНОК» служит для определения длительностей циклов основного станочного оборудования (среднее значение, среднее квадратическое отклонение, вид вероятностного теоретического распределения).

Выходные данные программ «СЫРЬЁ» и «СТАНОК» являются входными данными для решения задачи по компонент-программе «ПОТОК». Программа «ПОТОК»

предназначена для получения основных технологических показателей работы лесоперерабатывающего цеха: объём перерабатываемого сырья, число единиц готовой продукции, коэффициенты — технического использования, загрузки, использования для всех станков заданной структурной схемы цеха.

Для определения выхода готовой продукции в натуральном выражении в сортовом разрезе служит компонент-программа «ПРОДУКЦИЯ». Входной информацией для неё являются выходные данные программы «ПОТОК».

Перечисленные компонент-программы могут применяться самостоятельно для решения как конкретных задач, так и в комплексе [8].

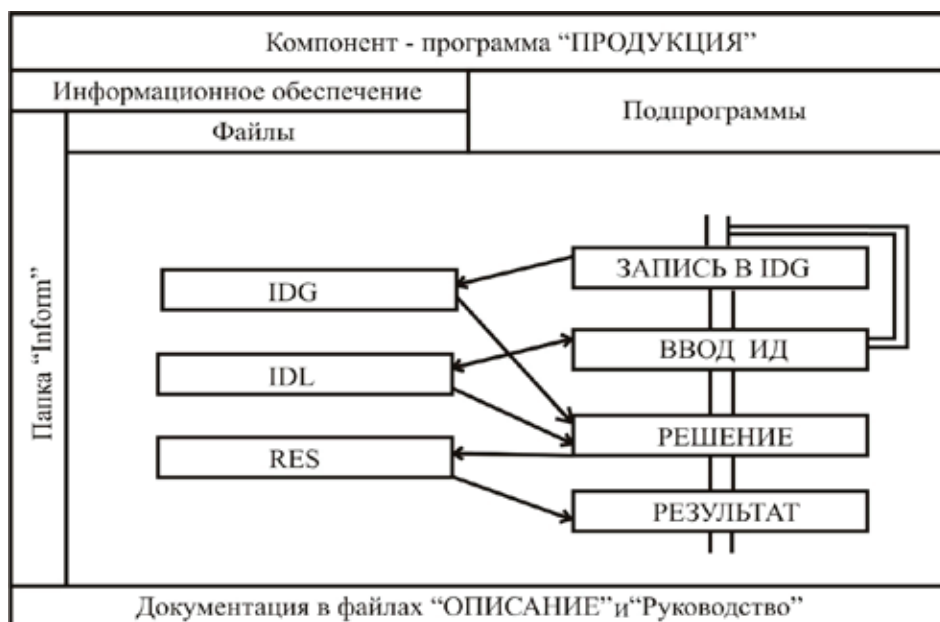


Рис. 5. Структура компонент-программы «ПРОДУКЦИЯ» [7]

Литература:

1. Кривоногова, А.Н., Чамеев В. В. Задачи анализа и синтеза при проектировании и управлении лесоперерабатывающими цехами // Научное творчество молодёжи — лесному комплексу России: матер. V всерос. науч. — техн. конф. / Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург, 2009. — Ч.2. — с. 15–16.
2. Васильев, Г.Л., Чамеев В. В. Решение задач анализа и синтеза в лесоперерабатывающих цехах на имитационных моделях // Новые задачи технических наук и пути их решения: сборник статей Международной научно-практической конференции (20 февраля 2015 г.). Уфа, Аэтерна, 2015. — с. 26–32.
3. Васильев, Г.Л., Чамеев В. В., Солдатов А. В. Управление лесоперерабатывающими цехами лесопромышленных предприятий на базе комплекс-программы «ЦЕХ» // Леса России и хозяйство в них: жур. Вып. 4 (51) / Урал. гос. лесотехн. ун-т. — Екатеринбург, 2014. — с. 48–52.
4. Еремеев, А.А., Бобыкина Е. Г., Сафонов А. А., Ивачёва К. В., Терентьев В. В., Чамеев В. В. Проверка математических моделей, алгоритмов и программ комплекс-программы «ЦЕХ» на адекватность реальным производственным условиям лесоперерабатывающих цехов по переработке круглых лесоматериалов на пилопродукцию // Научное творчество молодёжи — лесному комплексу России: матер. VII Всерос. научн. — техн. конф. / Урал. гос. лесотехн. ун-т. — Екатеринбург, 2011. Ч.1. — с. 29–31.
5. Липаев, В. В. Управление разработкой программных средств: Методы, стандарты, технология. — М.: Финансы и статистика, 1993. — 160 с.
6. Чамеев, В.В., Иванов В. В., Герц Э.Ф., Солдатов А.В. Информационное обеспечение учебного процесса: Учебно-методические указания по руководству пользователю информационной системой ИнфоЛес по направлению подготовки 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств». — Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. — 11 с.
7. Чамеев, В.В., Васильев Г.Л. Математическая модель и алгоритм по определению сортового состава круглых лесоматериалов и выхода готовой продукции // Вестник МГУЛ-Лесной вестник, 2014. — N 2. — с. 156–162.
8. Якимович, С.Б., Чамеев В. В., Васильев Г.Л., Ефимов Ю. В. Синхронизация станков по производительности в технологических потоках лесоперерабатывающих цехов // Молодой учёный. — 2015. — № 5. — с. 207–214.

## Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатирولیковой листопрáвильной машине фирмы Fagor Arrasate

Шинкин Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

*Предложен математический метод определения оптимальных технологических параметров холодной правки тонкого стального листа на пятнадцатирولیковой листопрáвильной машине испанской фирмы Fagor Arrasate. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах по производству широкого стального листа.*

*Ключевые слова: стальной лист, остаточные напряжения, кривизна поверхности листа, многорولیковые листопрáвильные машины, модель упругопластической среды.*

Производство труб большого диаметра из широкого толстого стального листа. Для обеспечения высоких требований к эксплуатации магистральных трубопроводов в практике трубного производства утвердился процесс формовки трубной заготовки из стального листа по схеме JCOE, разработанный немецкой фирмой SMS Meer [1–20]. Перед формовкой стальной лист правят на многорولیковых листопрáвильных машинах [3–6]. Дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer изучался в работах [1, 2, 7–16], вредное влияние остаточных напряжений в стенке стального листа после трубоформовочного пресса SMS Meer на процесс экспандирования трубы — в [1, 2, 18], дефект «точка перегиба» при изгибе стального листа на трубоформовочном прессе SMS Meer — в [1, 2, 19], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы — в [1, 2, 21], дефект стального листа раскатной пригар с риской — в [1, 2, 22]. Процессы прокатки стального листа для производства труб изучались в работах [23–29], энергосиловые параметры при формовке листовых заготовок — в [1–3, 12, 30–40].

**Пятнадцатирولیковая листопрáвильная машина Fagor Arrasate.** На рис. 1 показана кинематическая схема пятнадцатирولیковой листопрáвильной машины фирмы Fagor Arrasate с двумя взаимозаменяемыми кассетами для правки тонкого стального листа. Регулировка верхней кассеты рolíков с помощью четырех гидроцилиндров допускает ее вертикальное перемещение и наклон в продольном и поперечном направлениях. Благодаря движению нижних опорных рolíков существует возможность изгибать оси нижних рабочих рolíков для коррекции местных дефектов правки стального листа (волнистость, коробоватость и др.).

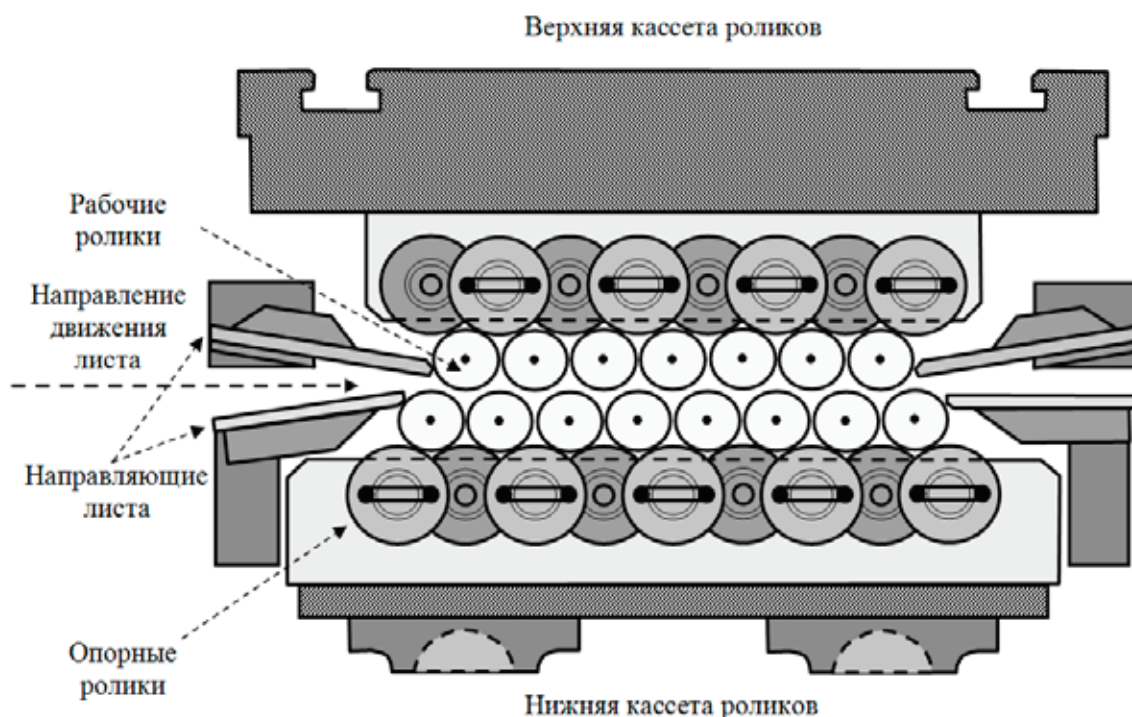


Рис. 1. Рolíковые кассеты пятнадцатирولیковой листопрáвильной машины

Коэффициент пружинения при изгибе. Пусть  $h$  и  $b$  — толщина и ширина стального листа;  $\sigma_T$ ,  $E$ ,  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  — предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения стали при растяжении и сжатии;  $\rho$  и  $\epsilon = 1/\rho$  — радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа. Тогда коэффициент пружинения нейтральной линии листа при радиусе кривизны  $\rho$  равен

$$\beta(\rho) = \left[ \left( 1 - \frac{(\Pi_p + \Pi_c)}{2E} \right) \left( 1 - 2 \frac{\rho \sigma_T}{hE} \right)^2 \left( 1 + \frac{\rho \sigma_T}{hE} \right) \right]^{-1}$$

Относительная деформация продольных волокон на поверхности листа при радиусе кривизны нейтральной линии листа  $\rho$  равна  $\eta_{прв} = h/(2|\rho|)$ .

**Математическая модель правки листа на пятнадцатироликовой листопрямительной машине Fagor Arrasate.** Пусть  $H_2, H_4, H_6, H_8, H_{10}, H_{12}, H_{14}$  — величины обжатия срединной поверхности стального листа на рабочих роликах верхней кассеты:

$$H_4 = H_{14} + \frac{5}{6}(H_2 - H_{14}), \quad H_6 = H_{14} + \frac{2}{3}(H_2 - H_{14}), \quad H_8 = H_{14} + \frac{1}{2}(H_2 - H_{14}),$$

$$H_{10} = H_{14} + \frac{1}{3}(H_2 - H_{14}), \quad H_{12} = H_{14} + \frac{1}{6}(H_2 - H_{14}).$$

Пусть  $t$  — шаг между нижними рабочими роликами,  $R$  — радиус рабочих роликов,  $R_0 = R + h/2$ ,  $\rho_i$  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 ( $i = 1 \dots 15$ ) (рис. 2).

Введем пятнадцать локальных прямоугольных декартовых систем координат  $y-z$  в точках касания листа с рабочими роликами листопрямительной машины. Оси  $z$  направим по касательной к поверхности роликов слева направо, а оси  $y$  — 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  $y(z) = a z^2 - b z^3$  (метод Шинкина).

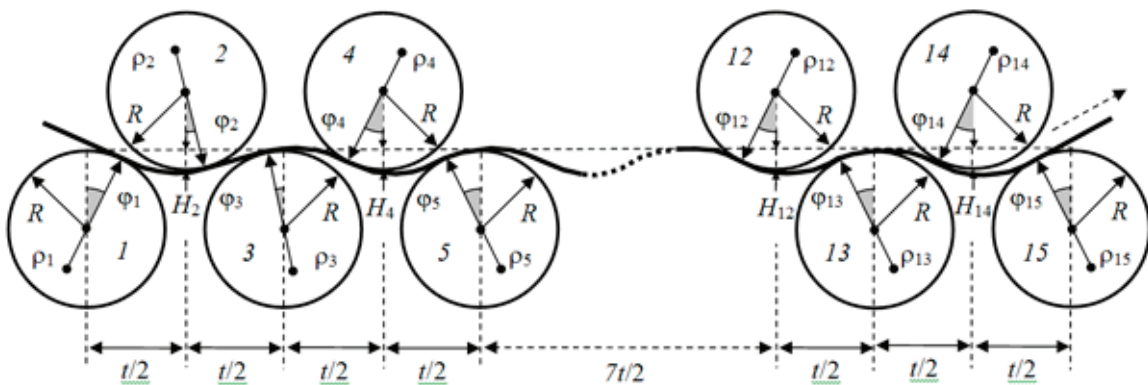


Рис. 2. Схема правки тонкого стального листа между рабочими роликами

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 ( $i = 1 \dots 15$ ). Составим уравнения для коэффициентов кубических полиномов, кривизны и радиусов кривизны нейтральной линии листа в точках касания листа с роликами:

*первый и второй ролики*

$$z_2 = \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \cos \varphi_2 \right) \cos \varphi_1 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \sin \varphi_1,$$

$$y_2 = - \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \cos \varphi_2 \right) \sin \varphi_1 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \cos \varphi_1,$$

$$a_1 = \frac{3y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)z_2}{z_2^2}, \quad b_1 = \frac{2y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)z_2}{z_2^3},$$

$$\epsilon_{1,2} = 2a_1, \quad \rho_{1,2} = \frac{1}{2a_1}, \quad \epsilon_{2,1} = \frac{2a_1 - 6b_1z_2}{\left[ 1 + (2a_1z_2 - 3b_1z_2^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{2,1} = \frac{1}{\epsilon_{2,1}};$$

второй и третьей ролики

$$z_3 = \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 + R_0 \cos \varphi_3 \right) \cos \varphi_2 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \sin \varphi_2,$$

$$y_3 = - \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 + R_0 \cos \varphi_3 \right) \sin \varphi_2 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \cos \varphi_2,$$

$$a_2 = \frac{3y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 - \varphi_3)z_3}{z_3^2}, \quad b_2 = \frac{2y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 - \varphi_3)z_3}{z_3^3},$$

$$\varepsilon_{2,3} = 2a_2, \quad \rho_2 = \rho_{2,3} = \frac{1}{2a_2}, \quad \varepsilon_{3,2} = \frac{2a_2 - 6b_2z_3}{\left[ 1 + (2a_2z_3 - 3b_2z_3^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_3 = \rho_{3,2} = \frac{1}{\varepsilon_{3,2}};$$

(2j - 1) -ый и 2j-ый ролики (j = 2, 3, 4, 5, 6, 7)

$$z_{2j} = \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{2j-1} + R_0 \cos \varphi_{2j} \right) \cos \varphi_{2j-1} - [H_{2j} - R_0(1 - \cos \varphi_{2j-1}) - R_0(1 - \cos \varphi_{2j})] \sin \varphi_{2j-1},$$

$$y_{2j} = \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{2j-1} + R_0 \cos \varphi_{2j} \right) \sin \varphi_{2j-1} + [H_{2j} - R_0(1 - \cos \varphi_{2j-1}) - R_0(1 - \cos \varphi_{2j})] \cos \varphi_{2j-1},$$

$$a_{2j-1} = \frac{3y_{2j} - \operatorname{tg}(\varphi_{2j-1} + \varphi_{2j})z_{2j}}{z_{2j}^2}, \quad b_{2j-1} = \frac{2y_{2j} - \operatorname{tg}(\varphi_{2j-1} + \varphi_{2j})z_{2j}}{z_{2j}^3}, \quad \varepsilon_{2j-1,2j} = 2a_{2j-1},$$

$$\rho_{2j-1,2j} = \frac{1}{2a_{2j-1}}, \quad \varepsilon_{2j,2j-1} = \frac{2a_{2j-1} - 6b_{2j-1}z_{2j}}{\left[ 1 + (2a_{2j-1}z_{2j} - 3b_{2j-1}z_{2j}^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{2j,2j-1} = \frac{1}{\varepsilon_{2j,2j-1}};$$

2j-ый и (2j + 1)-ый ролики (j = 2, 3, 4, 5, 6, 7)

$$z_{2j+1} = \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{2j} + R_0 \cos \varphi_{2j+1} \right) \cos \varphi_{2j} - [H_{2j} - R_0(1 - \cos \varphi_{2j}) - R_0(1 - \cos \varphi_{2j+1})] \sin \varphi_{2j},$$

$$y_{2j+1} = \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{2j} + R_0 \cos \varphi_{2j+1} \right) \sin \varphi_{2j} + [H_{2j} - R_0(1 - \cos \varphi_{2j}) - R_0(1 - \cos \varphi_{2j+1})] \cos \varphi_{2j},$$

$$a_{2j} = \frac{3y_{2j+1} - \operatorname{tg}(\varphi_{2j} + \varphi_{2j+1})z_{2j+1}}{z_{2j+1}^2}, \quad b_{2j} = \frac{2y_{2j+1} - \operatorname{tg}(\varphi_{2j} + \varphi_{2j+1})z_{2j+1}}{z_{2j+1}^3}, \quad \varepsilon_{2j,2j+1} = 2a_{2j},$$

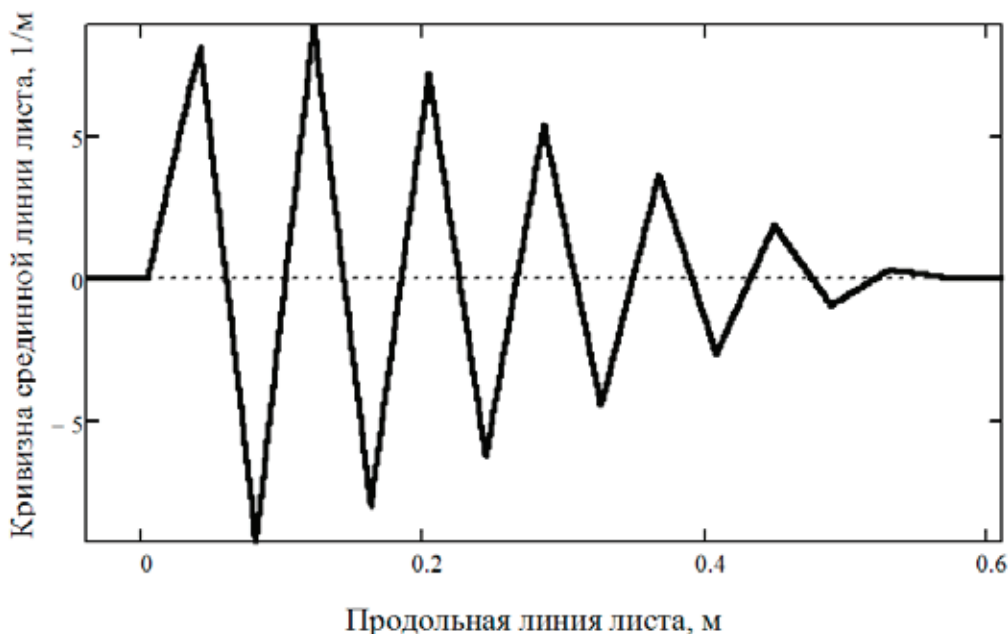


Рис. 3. Кривизна срединной линии листа при правке

$$\rho_{2j} = \rho_{2j,2j+1} = \frac{1}{2a_{2j}}, \quad \varepsilon_{2j+1,2j} = \frac{2a_{2j} - 6b_{2j}z_{2j+1}}{\left[1 + \left(2a_{2j}z_{2j+1} - 3b_{2j}z_{2j+1}^2\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{2j+1} = \rho_{2j+1,2j} = \frac{1}{\varepsilon_{2j+1,2j}}.$$

Граничные условия задачи имеют вид

$$\rho_{1,2} = \rho_1, \quad \rho_{2,1} = -\rho_{2,3}, \quad \rho_{3,2} = -\rho_{3,4}, \quad \rho_{4,3} = -\rho_{4,5}, \quad \rho_{5,4} = -\rho_{5,6}, \quad \rho_{6,5} = -\rho_{6,7},$$

$$\rho_{7,6} = -\rho_{7,8}, \quad \rho_{8,7} = -\rho_{8,9}, \quad \rho_{9,8} = -\rho_{9,10}, \quad \rho_{10,9} = -\rho_{10,11}, \quad \rho_{11,10} = -\rho_{11,12},$$

$$\rho_{12,11} = -\rho_{12,13}, \quad \rho_{13,12} = -\rho_{13,14}, \quad \rho_{14,13} = -\rho_{14,15}, \quad \rho_{15,14} = \beta(\rho_{14,15})\rho_{14,15}.$$

**Результаты расчетов.** Результаты расчетов при  $t = 245/3 = 81,67$  мм,  $R = 37,5$  мм,  $h = 3$  мм,  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $\sigma_{\tau} = 500 \cdot 10^6$  Па,  $H_2 = 3$  мм,  $H_{14} = 0$  мм и  $\rho_1 = \infty$  м показаны на рис. 3 и 4. Точки локальных экстремумов графиков соответствуют точкам касания стального листа с пятнадцатью рабочими роликми листопрямильной машины.

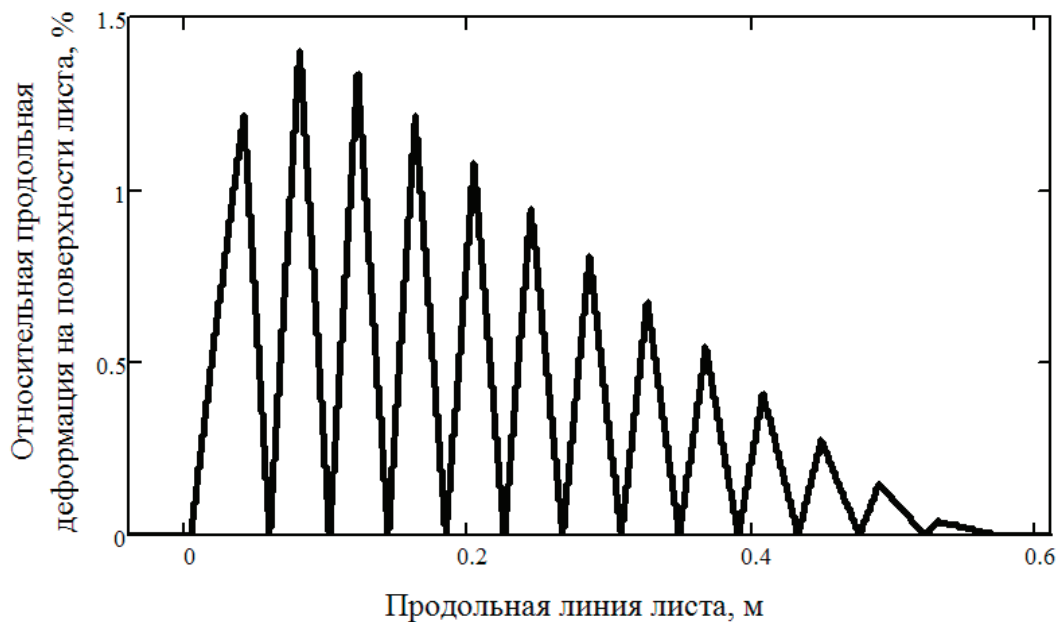


Рис. 4. Относительная продольная деформация на поверхности листа при правке

Литература:

1. Шинкин, В. Н. Механика сплошных сред для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2014. — 628 с.
2. Шинкин, В. Н. Сопротивление материалов для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2013. — 655 с.
3. Шинкин, В. Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. — М: Изд. Дом МИСиС, 2008. — 307 с.
4. Шинкин, В. Н., Федотов О. В. Расчет технологических параметров правки горячекатаной рулонной полосы на пятироликовой машине линии Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. № 9. с. 43–48.
5. Шинкин, В. Н., Барыков А. М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироликовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан-5000 // Производство проката. 2014. № 5. с. 7–15.
6. Шинкин, В. Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листопрямильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. с. 26–34.
7. Шинкин, В. Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. Вып. 6. с. 171–174.
8. 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.
9. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Упругопластическое изменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. с. 53–56.



10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // *Сталь*. 2011. № 1. с. 54–58.
16. 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.
17. 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.
18. Шинкин, В. Н., Коликов А. П., Мокроусов В. И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // *Производство проката*. 2012. № 7. с. 25–29.
19. 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.
20. Шинкин, В. Н., Коликов А. П. Моделирование процессов экспандирования и гидротестирования труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // *Производство проката*. 2011. № 10. с. 12–19.
21. 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.
22. Шинкин, В. Н., Мокроусов В. И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте раскатной пригар с риской // *Производство проката*. 2012. № 12. с. 19–24.
23. Бельский, С. М., Третьяков В. А., Барышев В. В., Кудинов С. В. Исследование процесса формирования ширины сляба в черновой группе широкополосного стана // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 1998. № 1. с. 24–29.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. Бельский, С. М. О некоторых эффектах применения осевой сдвижки рабочих валков // *Производство проката*. 2008. № 7. с. 21–24.
28. Бельский, С. М., Коцарь С. Л., Поляков Б. А. Расчет распределения усилия прокатки по ширине полосы и остаточных напряжений в полосе вариационным методом // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 1990. № 10. с. 32.
29. Бельский, С. М., Поляков Б. А., Третьяков В. А. Управление противоизгибом в клетях с осевой сдвижкой рабочих валков // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 1992. № 6. с. 15.
30. Шинкин, В. Н. Теоретическая механика для металлургов. — М: Изд. Дом МИСиС, 2012. — 679 с.
31. Бровман, Т. В. Определение усилий при вдавливании цилиндрического пуансона в заготовку // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 1997. № 1. с. 44–47.
32. Бровман, Т. В. Определение усилий при листовой штамповке // *Вестник машиностроения*. 2004. № 3. с. 60–61.
33. Бровман, Т. В. Энергосиловые параметры при деформации листовых заготовок // *Производство проката*. 2012. № 6. с. 27–32.
34. Бровман, Т. В., Васильев М. Г. Модель численных расчетов искусственной анизотропии при деформации тонколистового материала // *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Прикладная математика*. 2014. № 2. с. 25–32.

35. Бровман, Т. В., Кутузов А. А. О выборе режимов изгиба при вальцовке заготовок // Производство проката. 2014. № 12. с. 29–32.
36. Бровман, Т. В., Кутузов А. А. Определение усилий подгибки в штампах кромок стальных кольцевых заготовок // Производство проката. 2015. № 2. с. 18–23.
37. Бровман, М. Я. Применение теории пластичности в прокатке. — М.: Металлургия, 1991. — 256 с.
38. Бровман, М. Я. Непрерывная разливка металлов. — М.: Экомет, 2007. — 462 с.
39. Бровман, М. Я. О деформации ползучести при изгибе балок в процессе движения // Механика твердого тела. 2004. № 6. с. 121–127.
40. Бровман, М. Я. О деформации ползучести при продольном изгибе балок // Механика твердого тела. 2014. № 4. с. 121–129.

## Динамические эффекты, связанные со структурной неоднородностью конструкций

Ядгаров Уктам Турсунович, кандидат технических наук, доцент  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

При разработке конструкции РЭА (радио электронной аппаратуры) необходимо обеспечить требуемую жесткость и механическую прочность ее элементов. Жесткость конструкции есть отношение действующей силы к деформации конструкции, вызванной этой силой.

Под прочностью конструкции понимают нагрузку, которую может выдержать конструкция без остаточной деформации или разрушения. Повышение прочности конструкции РЭА связано с усилением ее конструктивной основы, применением ребер жесткости, контровки болтовых соединений и т.д. Особое значение имеет повышение прочности несущих конструкций и входящих в них узлов методами заливки и обволакивания. Заливка пеноматериалом позволяет сделать узел монолитным при незначительном увеличении массы. Во всех случаях нельзя допускать образования механической колебательной системы. Это касается крепления монтажных проводов, микросхем, экранов и других частей, входящих в РЭА. Один из эффективных методов повышения устойчивости конструкции микроэлектронной РЭА, как транспортируемой, так и стационарной, к воздействию вибраций, а также ударных и линейных нагрузок — использование амортизаторов. Действие амортизаторов основано на демпфировании резонансных частот, т.е. поглощении части колебательной энергии. Аппаратура, установленная на амортизаторах, в общем случае может быть представлена в виде механической колебательной системы с шестью степенями свободы: совокупностью связанных колебаний, состоящих из линейных перемещений, и вращательных колебаний по каждой из трех координатных осей. Эффективность амортизации характеризуется коэффициентом динамичности или передачи, числовое значение которого зависит от от-

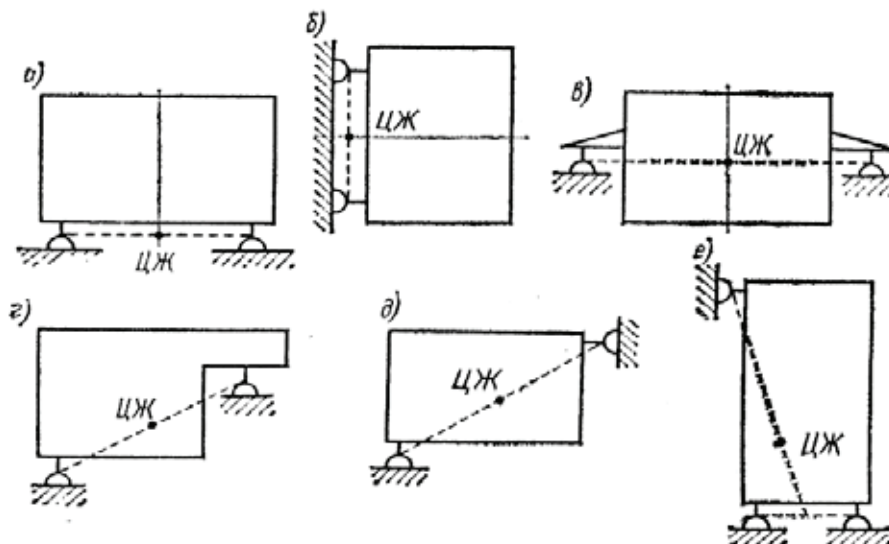


Рис. 1 Основные схемы расположения амортизаторов (в направляющей)

ношения частоты действующих вибраций  $f$  к частоте амортизированной системы  $f_0$ . При разработке схемы амортизации необходимо стремиться к тому, чтобы система имела минимальное число собственных частот и чтобы они были в 2–3 раза ниже наименьшей частоты возмущающей силы. Для амортизированной аппаратуры следует как можно больше уменьшать собственную частоту, а для неамортизированной, напротив, увеличивать, приближая ее к верхней границе возмущающих воздействий или превышая ее. Проведем анализ динамических коэффициентов для диссипативно неоднородной механической конструкции РЭА, изображенной на рис.2. На рис. 2  $\tilde{C}_j$  — операторный жесткости пружинки, который имеет вид ( $j=1,2,3$ ) [1]

$$\tilde{C}_j \varphi(t) = C_{01j} \left[ \varphi(t) - \int_0^t R_{cj}(t-\tau) \varphi(\tau) d\tau \right]; \quad (1)$$

$\varphi(t)$  — произвольная функция времени;  $R_{cj}(t-\tau)$  — ядро релаксации. Далее, применяя процедуру замораживания [2], заменим соотношения (5) приближенными вида

$$\bar{C}_j \varphi = C_j [1 - \Gamma_j^C(\omega_R) - i\Gamma_j^S(\omega_R)] \varphi = \bar{C}_j \varphi, \text{ где}$$

$\Gamma_j^C(\omega_R) = \int_0^\infty R_j(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau$ ,  $\Gamma_j^S(\omega_R) = \int_0^\infty R_j(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau$ , соответственно, косинус и синус — образы Фурье ядра релаксации материала. В качестве примера вязкоупругого материала примем трехпараметрическое ядро релаксации

$$R_j(t) = A_j e^{-\beta_j t} / t^{1-\alpha_j}, \text{ обладающее слабой сингулярностью [3].}$$

Техническая задача состоит в том, чтобы варьируя

в физически реализуемых пределах жесткость деформируемого элемента, его размеры и массу, добиться максимального снижения амплитуды резонансных колебаний тела. Исследуются частоты и коэффициенты демпфирования колебаний.

Задача о собственных колебаниях системы, описываемой уравнениями (1)

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = \{0\}, \quad (2)$$

сводится к решению характеристического уравнения

$$\det[[M]\lambda^2 + [C]\lambda + [K]] = 0,$$

В качестве примера рассмотрим систему с двумя степенями свободы, состоящую из двух тел массой  $M_1=0,1$  и  $M_2=0,1$  и трех деформируемых элементов с операторными жесткостями (рис.2). Исследуем зависимость собственных частот и коэффициентов демпфирования от мгновенной жесткости при фиксированных значениях и.

Ядро релаксации принято в виде

$$R(t-\tau) = \frac{Ae^{-\beta(t-\tau)}}{(t-\tau)^{(1-\alpha)}}.$$

Косинус и синус — образы этого ядра выражаются формулами

$$U_n^C = \frac{\Gamma(\alpha)}{(p^2 n^2 + \beta^2)^{\alpha/2}} \cos\left(\alpha \cdot \arctg\left(\frac{p_n}{\beta}\right)\right), U_n^S = \frac{\Gamma(\alpha)}{(p^2 n^2 + \beta^2)^{\alpha/2}} \sin\left(\alpha \cdot \arctg\left(\frac{p_n}{\beta}\right)\right),$$

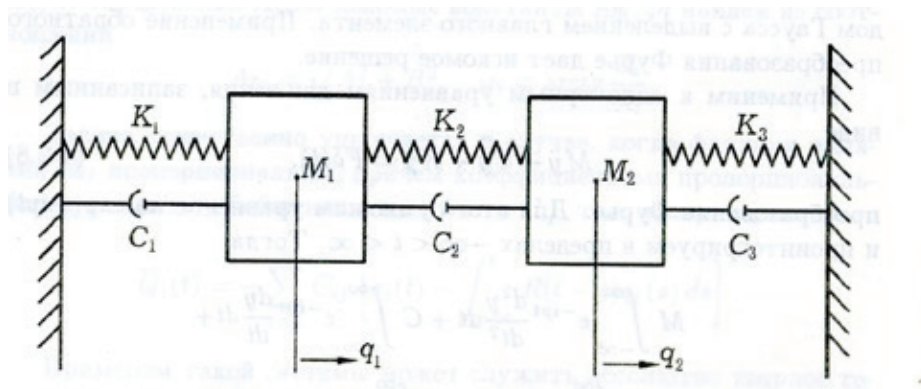


Рис. 2. Расчетная схема

где  $\Gamma(\alpha)$  — гамма-функция. Изучены две системы. В первом варианте рассмотрена однородная система, в которой  $R_1 = R_2 = R_3 = \frac{A \exp(-\beta t)}{t^{1-\alpha}}$ ,  $A = 0.048$ ,  $\beta = 0.05$ ,  $\alpha = 0.1$ .

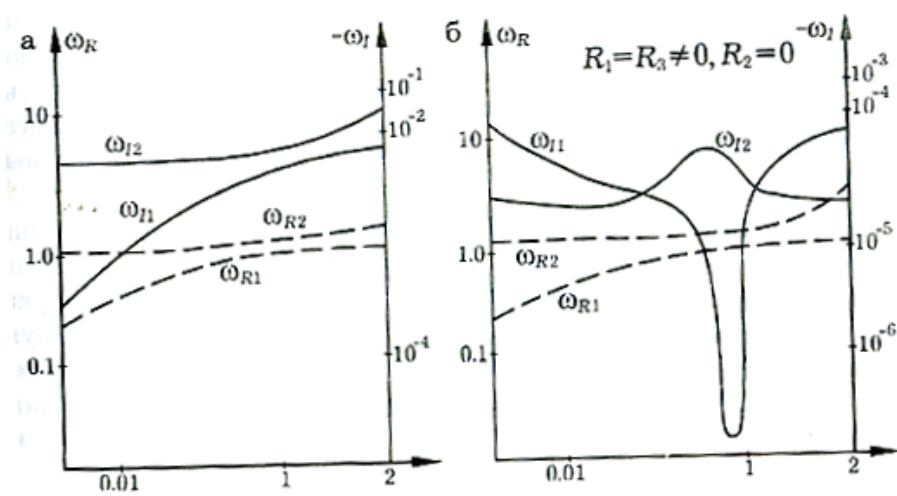


Рис. 3. Зависимость комплексных частот от  $C_2$

Результаты расчетов приведены на рис.3, а. Зависимость собственных частот и коэффициентов демпфирования от жесткости  $C_2$  оказалась монотонной, причем характер зависимости одинаков для частот, и для коэффициентов демпфирования. Во втором варианте первый демпфирующий элемент упругий ( $R_2 = 0$ ), а остальные элементы совпадают с принятыми выше. Результаты расчета представлены на рис.3, б. Зависимость собственных частот от  $C_2$  такая же, как и в случае однородной системы, соответствующие кривые совпадают с точностью до 5%. Что же касается коэффициентов демпфирования, то их поведение меняется радикальным образом: зависимость от  $C_2$  становится немонотонной. Особый интерес представляет минимальное значение коэффициента демпфирования при фиксированной жесткости  $C_2$ :

$$\delta = \min_k \{-\omega_{Ik}\}.$$

Величина  $\delta$  определяет демпфирующие свойства системы в целом. В случае однородной системы величина  $C_2$  (назовем ее глобальным коэффициентом демпфирования) целиком определяется мнимой частью наименьшей по модулю комплексной собственной частоты. В случае неоднородной системы в роли глобального коэффициента демпфирования в зависимости от величины  $C_2$  выступают мнимые части как первой, так и второй собственных частот. «Смена ролей» происходит при характерном значении величины  $C_2$ , когда действительные части первой и второй собственных частот наиболее близки. Глобальный коэффициент демпфирования при указанном характерном значении  $C_2$  имеет ярко выраженный максимум. Это обстоятельство представляет, на наш взгляд, новый механический эффект, который может быть сформулирован так: колебания собственных форм неоднородной вязкоупругой системы с близкими частотами взаимно гасят друг друга. Мгновенная жесткость  $C_2$  является геометрическим параметром, определяемым размерами элемента, а не физическими свойствами материала. Главная особенность обнаруженного эффекта состоит в качественной зависимости диссипативных свойств системы от ее геометрических параметров. Таким образом, результаты, полученные для рассматриваемой диссипативно неоднородной вязкоупругой конструкции, полностью согласуются с решениями задачи о свободных затухающих колебаниях и подтверждают факт резкого увеличения интенсивности диссипативных процессов при сближении основных частот в неоднородных вязкоупругих системах. При этом роль реологии сводится как к демпфированию колебаний, так и к взаимно усиливающемуся взаимодействию колебаний, различных мод, что существенно повышает диссипативные свойства системы в целом. Данный эффект взаимодействия различных форм движения сплошных тел имеет принципиальную перспективу для синтеза оптимальных по диссипативным свойствам и материалоемкости диссипативно неоднородных машиностроительных конструкций, строительных изделий, демпфирующих компаундов, материалов и композитов различных виброзащитных систем и устройств.

Литература:

1. Бозоров, М. Б., Сафаров И. И., Шокин Ю. И. Численное моделирование колебаний диссипативно однородных и неоднородных механических систем. — Новосибирск: Изд. СО РАН, 1996. — 189 с.
2. Сафаров, И. И. Колебания и волны в диссипативно неоднородных средах и конструкциях. — Ташкент: Фан, 1992.

## Исследование дисперсионного уравнения двухслойного цилиндра с жидкостью, находящейся в упругой среде

Ядгаров Уктам Турсунович, кандидат технических наук, доцент  
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Рассмотрим собственные колебания в упругой среде, содержащей двухслойный цилиндрический слой в цилиндрической системе координат  $(r, z, \theta)$ . Обозначим через  $V_{pi}, V_{si}, \rho_i, \mu_i, \lambda_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) соответственно скорость продольной и поперечной волны, плотность и модуль упругости. Рассмотрим задачу о распространении свободных волн, возникающих в такой системе. Уравнения движения среды для продольных  $\phi_i$  и поперечных  $\psi_i$  потенциалов представляется в виде:

$$\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial t^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi_i}{\partial \tau} + \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial z^2} = \frac{1}{V_{pi}^2} \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial t^2},$$

$$\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial t^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi_i}{\partial \tau} - \frac{\phi_i}{\tau^2} + \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial z^2} = \frac{1}{V_{ci}^2} \frac{\partial^2 \psi_i}{\partial t^2} \quad (i = 0, 1, 2, 3).$$

В уравнениях (1) следует положить  $\psi_2 = 0$ , если в затрубном пространстве находится жидкость. Соответствующие напряжения  $\sigma_{rr}, \tau_{rz}$  и смещения  $u_r, u_z$ , определяются через потенциалы  $\phi, \psi$  равенствами

$$\tau_{rz} = 2\mu \left[ \frac{\partial^2 \phi}{\partial r \partial z} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right] + \frac{\mu}{V_s^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$$

$$\tau_{rz} = \frac{\lambda}{V_p^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + 2\mu \frac{\partial^2 \psi}{\partial \tau^2} - 2\mu \frac{\partial^2 \psi}{\partial z \partial r}$$

$$u_r = \frac{\partial \phi}{\partial \tau} - \frac{\partial \psi}{\partial z}; \quad u_z = \frac{\partial \phi}{\partial \tau} + \frac{\partial \psi}{\partial z}.$$

На границах раздела упругой среды с жидкостью выполняются граничные условия непрерывности нормальных составляющих смещений и напряжений, а также равенство нулю касательных напряжений в твердом теле:

$$u_r^{(0)}|_{r=r_3} = u_r^{(3)}|_{r=r_3}; \quad u_r^{(1)}|_{r=r_2} = u_r^{(2)}|_{r=r_2}; \quad u_r^{(2)}|_{r=r_3} = u_r^{(3)}|_{r=r_3};$$

$$\sigma_{rr}^{(0)}|_{r=r_1} = \sigma_{rr}^{(1)}|_{r=r_1}; \quad \sigma_{rr}^{(1)}|_{r=r_2} = \sigma_{rr}^{(2)}|_{r=r_2}; \quad \sigma_{rr}^{(2)}|_{r=r_3} = \sigma_{rr}^{(3)}|_{r=r_3};$$

$$\tau_{rz}^{(1)}|_{r=r_1} = 0; \quad \tau_{rz}^{(1)}|_{r=r_2} = 0; \quad \tau_{rz}^{(2)}|_{r=r_3} = 0.$$

Если жидкость заменена упругой средой, то на контакте двух сред ставятся следующие условия:

$$u_r^{(0)}|_{r=r_1} = u_r^{(1)}|_{r=r_1}; \quad u_r^{(1)}|_{r=r_2} = u_r^{(2)}|_{r=r_2}; \quad u_r^{(2)}|_{r=r_3} = u_r^{(3)}|_{r=r_3};$$

$$\sigma_{rr}^{(0)}|_{r=r_1} = \sigma_{rr}^{(1)}|_{r=r_1}; \quad u_z^{(1)}|_{r=r_2} = u_z^{(2)}|_{r=r_2}; \quad u_z^{(2)}|_{r=r_3} = u_z^{(3)}|_{r=r_3};$$

$$\sigma_{rz}^{(1)}|_{r=r_1} = 0; \quad \sigma_{rr}^{(1)}|_{r=r_2} = \sigma_{rr}^{(2)}|_{r=r_2}; \quad \sigma_{rr}^{(2)}|_{r=r_3} = \sigma_{rz}^{(3)}|_{r=r_3};$$

$$\tau_{rz}^{(1)}|_{r=r_2} = \tau_{rz}^{(2)}|_{r=r_2}; \quad \tau_{rz}^{(2)}|_{r=r_3} = \tau_{rz}^{(3)}|_{r=r_3};$$

Решения уравнений (1), удовлетворяющих условию конечности среды на оси  $r=0$  и условиям убывания на бесконечности, выражаются через модифицированные функции Бесселя.

На границе контакта слоев ( $r = r_2$ ) ставится условие скользящего контакта (непрерывны нормальные составляющие напряжений и смещений, отсутствуют касательные составляющие напряжений) и контакт между внешним слоем и окружающей средой жесткий (непрерывны нормальные и тангенциальные составляющие напряжений и смещений). Дисперсионное уравнение записывается в виде:

$$\Delta(k, \eta) = 0. \tag{4}$$

Оно представимо в виде определителя, у которого элементы  $\delta_{ij}$  ( $1 \leq i \leq 11; 1 \leq j \leq 11$ ), отличные от нуля, имеют следующий вид:

$$\delta_{11} = -\rho_{01} j^2 J_0(x_0); \quad \delta_{31} = -i \alpha_0 J_1(x_0); \quad \delta_{12} = -\rho_1 J_0(x_1) + \frac{2i \alpha_{ij}}{kr_i u_{ij}};$$

$$\delta_{22} = -2i\alpha_1 J_1(x_1); \delta_{32} = i\alpha_1 J_1(x_1); \delta_{42} = \rho_1 J_0(x_2) - \frac{2i_j}{kr_2} J_1 k_2$$

$$\delta_{52} = -2i\alpha_1 J_1(x_2); \delta_{62} = i\alpha_1 J_1(x_2);$$

$$\delta_{13} = -\rho_1 N_1(x_1) + \frac{2i\alpha_1}{kr_1} N_1(x_1); \delta_{32} = -2i\alpha_1 N_1(x_1); \delta_{13} = \alpha_1 N_1(x_1);$$

$$\delta_{43} = -\rho_1 N_0(x_3) - \frac{2i\alpha_1}{kr_2} N_1(x_2); \delta_{63} = i\alpha_1 N_1(x_2);$$

$$\delta_{14} = -2i\beta_1 J_0(y_1) - \frac{2}{kr_1} J_1(y_1); \delta_{24} = \rho_1 J_1(y_1);$$

Остальные элементы также записываются в аналогичном виде. Здесь

$$x_0 = -ikr_1\alpha_0; x_1 = -ikr_1\alpha_1; x_2 = -ikr_2\alpha_1; x_3 = -ikr_2\alpha_2; y_1 = -ikr_1\beta_1;$$

в двухслойном цилиндре V определяет скорость обобщенной волны по двухслойному цилиндру. Фазовая скорость волны определяется величиной реальной части корня, то есть  $V_\phi = \text{Re}V$ ; величины мнимой части корня связаны с затуханием  $\chi$  на единице расстояния зависимостью

$$\chi = \frac{2\pi \text{Im}V}{(\text{Re}V)^2}.$$

Дисперсионное уравнение (4) решается методом Мюллера. Значение левой части на каждой итерации метода Мюллера определяется методом Гаусса с выделением главного элемента. Нами были составлены программы и проведены расчеты дисперсии и затухания волны Лэмба для моделей скважин, описываемых граничными условиями (3a) и (3b). Исходя из физической постановки задачи, будем считать, что поглощением обладают буровая жидкость, цемент, тампонажная смесь, поглощением же в материале колонны и в окружающей среде будем пренебрегать. Переход к системе с поглощением был сделан посредством введения комплексных параметров сред. Численные результаты получены при следующих значениях параметров:

$$V_{p0} = 1500 \text{ м/с}; V_{p1} = 1500 \text{ м/с}; V_{p2} = 1500 \text{ м/с};$$

$$V_{p3} = 5300 \text{ м/с}; V_{s1} = 2900 \text{ м/с}; V_{s2} = 2000 \text{ м/с};$$

$$V_{s3} = 2000 \text{ м/с}; \rho_0 = 1 \text{ г/см}^3; \rho_1 = 8 \text{ г/см}^3;$$

$$\rho_2 = 3 \text{ г/см}^3; \rho_4 = 4 \text{ г/см}^3; r_1 = 0,05 \text{ м}; r_2 = 0,06 \text{ м}; r_3 = 0,067 \text{ м}.$$

Результаты расчетов представлены в табл. 1. Видно, что фазовая скорость слабо зависит от волнового числа.

Таблица 1. Изменение фазовой скорости V (м/с) в зависимости от волнового числа /а.

$\alpha/a$	1	2	3	4	5
1	1450,121	1450,024	1451,01	1456,28	1450,82
2	1456,3	1456,09	1456,013	1456,72	1455,3
3	1462,24	1462,50	1462,03	1462,4	1461,9

Из анализа значений фазовой скорости выявлено, что разница между скоростями осесимметричных и не осесимметричных волн первой моды мала для всех значений волнового числа, кроме близких к нулю (область очень длинных волн), а минимумы части первой моды для всех значений  $n$  совпадают, так что и в данном случае первая резонансная скорость может быть определена из решения соответствующей осесимметричной задачи. Так при  $\gamma > 250$  получено  $C = 0,31 (3\rho/G)^{\frac{1}{2}}$ . Как показали расчеты, наименьший вклад дает поглощение продольной волны (рис. 1).

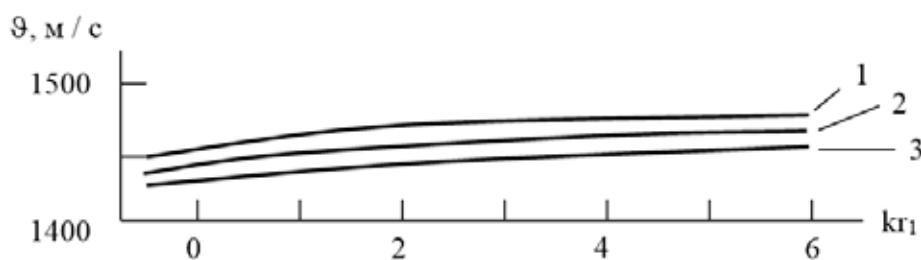


Рис. 1. Зависимости фазовой скорости от волнового числа

Из результатов выясняется, что сжимающие контактные напряжения имеют место в некоторой окрестности приложения каждой силы. С удалением от точки приложения силы по окружности напряжения для всех рассмотренных случаев меняют знак. Это является следствием предположения двухсторонних характеров связи между оболочкой и заполнителем.

Литература:

1. Сафаров, И. И. Колебания и волны в диссипативно неоднородных средах и конструкциях. — Ташкент; Фан, 1992. — 250 с.

## Network attack detection systems

Яковлева Анна Валентиновна, студент;

Логинова Анна Владимировна, старший преподаватель  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Yakovleva Anna Valentinovna, student;  
Loginova Anna Vladimirovna, senior teacher  
National Research Tomsk Polytechnic University

Nowadays there is a very urgent problem of network attacks by hackers around the world to confidential information of a user as well as of an entire organization.

The main goal of an intruder is to penetrate inside a particular organization system to get confidential information or cause harm. For example, June 29<sup>th</sup> and 30<sup>th</sup>, 1999 a juvenile hacker Jonathan James, known as a «c0mrade», hacked into a well-protected server of the USA Government in Alabama with a simple Pentium PC. C0mrade stole several files, one of which was the source code of NASA international space station [3].

To carry out their attacks, hackers tend to set the system to the local switch-boards or use a security hole, and then install all the necessary software to sniff and penetrate with the servers of hacked organizations.

The experts from around the world have been studying this issue for more than a quarter of a century. Developers and advisors explore the signs of attacks, develop and put into operation methods and security tools to detect the system trespassing, both at a logical and physical level. The specialists use such notions as perimeter protection, fixed-site and dynamic protection and sewn dynamic, proactive security tools.

At present the intrusion detection systems are software or hardware-software solutions that computerize the entire control process in computer system or in network. They analyze events to find out the security problem indicators. Due to this, the number of unauthorized entries has recently increased significantly. Intrusion Detection Systems (IDS) became a necessary component of the security infrastructure of all large organizations [1].

The up-to-date intrusion detection systems have different architecture. The special attention should be given to IDS classification, developers and advisors decide which software to use in a given situation. Currently, you can divide all systems into: network and local. Network systems are erected

on computers appropriate for this purpose and they analyze the local area network traffic. The local IDS have been already installed on individual computers that need to be protected and analyze various events, such as user actions or program calls.

Today we know a large number of different types of classifications. Unfortunately, some of the existing classifications are not very applicable, but they are actively used to select IDS and for further operation.

It should be noted that network attacks are divided into several types:

- Remote entry — a type of attack that allows realizing a remote control of your computer over a network, e.g. NetBus or BackOrifice attacks;
- Local penetration — a type of attack that results in an unauthorized access to the host where they are sent, e.g. GetAdmin attack;
- Network scanner attacks — a type of attack based on the use of network scanners — programs that analyze the network topology and discover the services available for attacks, e.g. nmap applet attack.

There are many types of network IDS. But it is not possible to study all these types in one work. Paying attention to everything that was aforementioned, all intrusion detection systems can be divided into systems oriented to search for:

- interaction anomalies of controlled objects;
- signatures of all recognized attacks;
- reference core information tampering.

It should be noted that today there are practically no hybrid systems and systems that used the information distributed in time and space. During this work we came to conclusion that from the vast majority of modern systems only the signature method of attack recognition or anomaly search in the supervised network are used [2].

Now we will talk about the real shortcomings of existing systems. The greatest mistake of computer attack detection is a primitiveness of a simple signature search, a low efficiency in detection of advanced attacks, a lack of data integration at the host and network level to detect interleaving attacks and unauthorized entries.

Among the operating shortcomings of modern IDS we can reveal a large number of calculation operations to divide events into “friend or foe” and the inability to process all incoming information in real time with an ordinary PC. It is worth saying that the processing rate of event network traffic is often slower than the real time. The time lag is usually 1.5–2 times bigger. Some analysis systems work in a deferred mode. This means that the attack on protected data and computing resources will not be noticed in time and certainly will not be met by the available means of protection, which will lead to the system failure or a loss of confidential information. In this mode, IDS is best used as a means of attack phases logging and a subsequent criminalistics examination. In all other cases it is unacceptable.

Currently, many up-to-date IDS are not originally designed portable, that is, their code is not portable to different operating systems and spur-of-the-moment hardware computing platforms. The majority of Western products and almost all domestic IDS cannot operate on several operating systems. Considering the fact that IDS does not take advantage of the development and code optimization for selected operating systems and hardware platforms, we can say that this is probably its most important drawback. Also, any software or hardware-software system is not equipped with a hot-swapping mode, allowing putting into operation a hot backup complex and restoring the destroyed defensive network perimeter.

Nowadays modern intrusion and attack detection systems are far from being ergonomic and efficient in terms of security solutions. The efficiency improvement should be introduced not only in the malicious action detection in the infrastructure of protected data objects, but even in terms of the daily «battle» operation of these tools, as well as the cost of computing and information resources of the security system owner.

Of course, if we talk only about the data processing units, perhaps each attack signature in the present scheme of attack information processing is a basic element to recognize a common action — to recognize the attack phase. Each attack is divided into a set of steps of its realization. The simpler the attack is, the easier it is to detect and the more opportunities there are to analyze it. Each signature shows a specific event in a computer network and the local framework in the phase space of cyber-attacks. These phases can be determined simply, but it is better to keep a sufficient detail level to be able to describe attacks with detailed attack scenarios (list of attack phases and transitions between them).

Advantages of an integrated approach are obvious — in case of separate processing of different attack steps it is possible to recognize the threat in the course of its gathering and

delivering rather than at the stage of operation as it is done in existing systems.

- An intermediate level extracts information from the lower level and aggregates it with finite state automata (attack scripts), statistical analysis and threshold filtration mechanisms;

- The highest level aggregates information from two previous levels and allows identifying common and distributed attacks, their real source and predicting its further behavior on the basis of mining.

The core of computer attack detection system should be clearly separated from the visual and signaling system. We use methods that form a list of options (passport), which check incoming network packets, to search for signatures in network packets. The existing systems (e.g., Snort or PreludeIDS, which uses Snort methods) use the string mode of these methods description:

```
alert tcp $HOME_NET 1024:65535 ->
$EXTERNAL_NET 1024:65535
(msg:"BLEEDING-EDGE TROJAN Trojan.Win32.
Qhost C&C Traffic Outbound (case1)");
flow: established;
dsize:>1000;
content:"|00 00 00 28 0a 00 00 02 0f|Service Pack 1|00|";
classtype: trojan-activity;
reference: url,/www.viruslist.com/en/viruses/ encyclopedia?virusid=142254;
sid:2007578;
rev:1;
)
```

This form is more convenient for quick machine-aided processing, but less suitable for humans. In addition, it lacks the ability to extend the functionality, which is incorporated in such XML-like signature database embedding. For example, a simple «parenthetic» pattern allows you to record a control variable set and to describe the methods in a much more enjoyable and understandable visual form, retaining the ability to extend the functionality. Thus, the determination of attack phases, protected objects and events in the network might look as follows:

```
type_defs {
alert = 1;
warning = 2;
fail = 4;
}
srcdst_defs {
HOME_NET = 195.208.245.212
localhost = 127.0.0.1
}
proto_defs {
tcp = 1;
udp = 2;
tcp-flow = 10;
}
phase_defs {
port_scanning = 1;
```



```
exploiting = 2;
icmp_sweeping = 3;
ftp_bouncing = 4;
shell_using = 5;
dir_listing = 6;
file_opening = 7;
}
```

Both classic event signs (an event type, a checking protocol, a source effect and a working object, a short message) and accessory signs (an attack phase, a threat type, which refers to the event appearance. Moreover, these methods may be grouped into sets that are suitable for binding them with discerned network and local services in protected system. [4]

If we go back to check the method effectiveness in the intrusion detection systems, we should note the following fact. Now, all methods in IDS are tested as follows. The checking of heterogeneous methods is done separately, method after method, and the homogeneous operations on packages are carried out separately all the time. This approach does not allow to parallelize the network packet manipulating effec-

tively, to take full advantage of multiple pipelines in modern processors and to optimize the search for partly similar signature methods. However, it is worth noting that there is a disadvantage of approach when, for example, the patterns are connected to each other. Nevertheless, there is a small number of such methods and that allows to spin it off into a separate class as a filter rule, but of parallelized methods and to use any simple sequential check methods in them.

In conclusion, we would like to summarize that the modern approach to the building of network intrusion detection systems and cyber-attack sign finding on information systems is full of gaps and security vulnerabilities that allow malicious attacks to overcome successfully the information security systems of almost all organizations. The transition from attack signature search to the steps of information security threats should help to ensure the radical situation change, reducing the development gap of secure systems. This transition should enhance the effectiveness of information security control, and finally, more specific examples of requirements document and regulatory guide application that have already become standard.

#### References:

1. Network solutions A-Z [Electronic course] / Computer-based threat detection systems — Electronic Data. — URL: <http://www.nestor.minsk.by/sr/2008/05/sr80513.html#2>, (access date: 31.04.2014);
2. Internet technologies.ru [Electronic course] / Network attack classification — Electronic data. — URL: [http://www.internet-technologies.ru/articles/article\\_237.html](http://www.internet-technologies.ru/articles/article_237.html), (access date: 03.05.2014);
3. IT — sector [Electronic course] / Hackers' methods — Electronic data. — URL: <http://it-sektor.ru/metody-xakerov.html>, (access date: 03.05.2014);
4. Attack detection systems [Electronic resource] / Internet — GPU solutions «Data security» — Electronic data. — URL: <http://doc.marsu.ru/sec/pub/p01.html>, (access date: 03.05.2014)

# Молодой ученый

Научный журнал  
Выходит два раза в месяц

№ 10 (90) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:**

Ахметова Г. Д.

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова М. Н.  
Иванова Ю. В.  
Каленский А. В.  
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.  
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.  
Мусаева У. А.  
Насимов М. О.  
Прончев Г. Б.  
Семахин А. М.  
Сенюшкин Н. С.  
Ткаченко И. Г.  
Яхина А. С.

**Ответственные редакторы:**

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

**Международный редакционный совет:**

Айрян З. Г. (Армения)  
Арошидзе П. Л. (Грузия)  
Атаев З. В. (Россия)  
Борисов В. В. (Украина)  
Велковска Г. Ц. (Болгария)  
Гайич Т. (Сербия)  
Данатаров А. (Туркменистан)  
Данилов А. М. (Россия)  
Досманбетова З. Р. (Казахстан)  
Ешиев А. М. (Кыргызстан)  
Игисинов Н. С. (Казахстан)  
Кадыров К. Б. (Узбекистан)  
Кайгородов И. Б. (Бразилия)  
Каленский А. В. (Россия)  
Козырева О. А. (Россия)  
Куташов В. А. (Россия)  
Лю Цзюань (Китай)  
Малес Л. В. (Украина)  
Нагервадзе М. А. (Грузия)  
Прокопьев Н. Я. (Россия)  
Прокофьева М. А. (Казахстан)  
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  
<http://www.moluch.ru/>

**Учредитель и издатель:**

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», г. Казань, ул. Академика Арбузова, д. 4