

# МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2072-0297

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



23 2023  
ЧАСТЬ II

16+

# Молодой ученый

## Международный научный журнал

### № 23 (470) / 2023

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

*Главный редактор:* Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

*Редакционная коллегия:*

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, доктор педагогических наук (Узбекистан)  
Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук  
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук  
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)  
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук  
Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук  
Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук  
Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)  
Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук  
Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук (Казахстан)  
Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук (Азербайджан)  
Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук  
Бердиев Эргаш Абдуллаевич, кандидат медицинских наук (Узбекистан)  
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  
Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук (Казахстан)  
Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)  
Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук  
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  
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)  
Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук  
Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук  
Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук  
Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук  
Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук  
Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук  
Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук  
Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук (Казахстан)  
Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии (Казахстан)  
Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук  
Рахмонов Азизхон Боситхонович, доктор педагогических наук (Узбекистан)  
Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук  
Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук  
Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук  
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)  
Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук  
Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук  
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры  
Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук (Узбекистан)  
Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук  
Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

*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)  
Ахмеденов Кажмурат Максutowич, кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)  
Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)  
Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)  
Буриев Хасан Чутбаевич, доктор биологических наук, профессор (Узбекистан)  
Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)  
Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)  
Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)  
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)  
Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)  
Досманбетов Динар Бакбергенович, доктор философии (PhD), проректор по развитию и экономическим вопросам (Казахстан)  
Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)  
Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)  
Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)  
Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, доктор педагогических наук, и.о. профессора, декан (Узбекистан)  
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)  
Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)  
Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)  
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)  
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)  
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)  
Кыят Эмине Лейла, доктор экономических наук (Турция)  
Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)  
Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)  
Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)  
Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)  
Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)  
Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)  
Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)  
Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)  
Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)  
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)  
Узаков Гулом Норбоевич, доктор технических наук, доцент (Узбекистан)  
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры (Россия)  
Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)  
Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)  
Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)  
Шуклина Зинаида Николаевна, доктор экономических наук (Россия)

---

---

На обложке изображен Хемиун (2600–2555 гг. до н. э.), древнеегипетский зодчий периода IV династии Древнего царства. Хемиун является предполагаемым автором Великой пирамиды фараона Хеопса в Гизе.

Происхождение Хемиуна точно неизвестно. Он считается сыном царевича Нефермаата, происходившего из Медума, и его супруги Итет, племянником или двоюродным братом Хеопса и внуком Снофру. У Хемиуна было три сестры и множество братьев. О жене и детях Хемиуна нет данных.

Задумав возвести для себя величественную усыпальницу, равной которой не было, нет и не будет нигде в мире, Хеопс в качестве архитектора пригласил, по некоторым данным, своего ближайшего родственника — Хемиуна.

Хемиун, который имел титул «мастер работ», согласившись разработать проект величайшей египетской гробницы, отказался от применения мелких камней для ее изготовления и остановил свой выбор на крупных известняковых блоках, которые тщательно подготовили подмастерья.

Вес каждого из использованных известняковых блоков составлял от 2,5 до 30 тонн. Всего для строительства грандиозной пирамиды Хеопса было использовано 2 300 000 таких блоков, соединенных друг с другом без помощи какого-либо раствора, а исключительно силой собственной тяжести. Размер блоков уменьшался с возрастанием высоты пирамиды: так, если первый ряд кладки составляли блоки высотой около 1,5 м, то для последних, самых высоких рядов выбирались 55-сантиметровые блоки.

Несмотря на то что история не сохранила для нас информации о том, кто именно выбрал для постройки пирамиды

Хеопса Гизу, тем не менее, можно предположить, что это также относилось к компетенции архитектора. Хемиун нашел удивительно подходящее для строительства погребального комплекса место: на самой границе, отделяющей плодородные, полные жизни и солнца земли от печальной пустыни, названной египтянами Страной смерти. Кроме того, пирамида Хеопса, как, впрочем, и две ее «соседки» — пирамида Хефрена и пирамида Микерина, строго ориентирована Хемиуном по сторонам света, а погребальная камера, расположенная внутри пирамиды, имеет ориентир на Альфу — звезду, расположенную в созвездии Дракона. Тем самым древнеегипетский архитектор словно бы вписал свое творение в космическую орбиту.

По некоторым данным, Хемиун умер от болезни незадолго до окончания строительства Великой пирамиды, похоронен в сохранившейся мастабе неподалёку, разграбленной в древности. В этой мастабе, в одном из двух помещений была найдена в очень хорошем состоянии его статуя, на которой можно найти признаки очень высокого социального статуса изображённого. Это вообще единственная найденная статуя обычного человека (не фараона) того периода. Кроме этого, в ней был найден барельеф — портрет Хемиуна.

Величайшее творение Мастера работ было признано впоследствии одним из семи чудес света.

*Информацию собрала ответственный редактор  
Екатерина Осянина*

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### **Аверченко А. П., Голубев В. В.**

Реализация метода прямого цифрового синтеза гармонического сигнала на платах Altera DE2–115 и Data Conversion HSMC .....81

#### **Аднабеков М. Х., Адильбеков М. А.**

Исследование сложного теплообмена в хлебопекарных печах .....86

#### **Ахметшин А. А.**

Математические модели поддержки принятия управленческих решений как один из механизмов совершенствования деятельности пожарно-спасательных подразделений .....89

#### **Баширова А. Ф.**

Энергетический анализ и прогнозирование на 2023 год .....91

#### **Баширова А. Ф.**

Сохранение энергии при прямом численном моделировании многофазных потоков с разрешением на границе раздела фаз .....92

#### **Баширова А. Ф.**

Влияние экономической сложности на энергоэффективность и переход к возобновляемым источникам энергии .....93

#### **Безделов В. Л., Шлеменков А. Л.**

Синхронная регистрация связанных событий в различных точках пространства.....95

#### **Буранов А. А.**

Обнаружение неисправностей обмотки статора с помощью подачи высокочастотного сигнала для асинхронных двигателей с закрытыми пазами ротора .....98

#### **Буранов А. А.**

Алгоритм защиты асимметричных асинхронных двигателей..... 103

#### **Ганин А. С.**

Исследование теоретических аспектов функционирования дежурных служб пожаротушения местных пожарно-спасательных гарнизонов Республики Татарстан..... 106

#### **Герасимова А. Р.**

Развитие сметного дела в рамках BIM-технологии в сфере строительства Российской Федерации ..... 108

#### **Джуракулов Т. Х., Евстропов В. А., Петросян А. А., Михалевич И. Ф.**

Использование квантовых компьютеров при атаке на RSA ..... 111

#### **Ефремова А. Г.**

Статистика неисправностей в цехе осушки природного газа ..... 113

#### **Казаков Е. В.**

Динамика мирового объема перевозок скоропортящихся грузов в рефконтейнерах за последние 20 лет..... 115

#### **Казанцев К. Е.**

Возможные источники чрезвычайных ситуаций на прирельсовом складе светлых нефтепродуктов..... 117

#### **Казанцев К. Е.**

Прогнозирование объемов и площадей разливов нефтепродуктов на прирельсовом складе светлых нефтепродуктов..... 118

#### **Казанцев К. Е.**

Расчет количества сил и средств, необходимых для ликвидации разливов нефтепродуктов при наиболее опасной аварии на прирельсовом складе светлых нефтепродуктов..... 121

#### **Корниенко К. В.**

Влияние разгрузочного модуля на осадки точки дна котлована ..... 124

#### **Лакутин С. С., Шушунова Л. С.**

Особенности системы управления самолетом Airbus A320 ..... 129

#### **Томус И. Ю., Ефремова А. Г.**

Анализ неисправности оборудования дожимной компрессорной станции ..... 131

#### **Томус И. Ю., Ефремова А. Г.**

Расчет коэффициентов роста динамики неисправностей на примере оборудования дожимной компрессорной станции..... 133

**Шейко О. О.**

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности колонны деэтанизатора ..... 136

**Шейко О. О.**

Взрывопредупреждение и пожаровзрывозащита технологического процесса стабилизации газового конденсата ..... 137

**Шейко А. С.**

Система автоматического контроля неисправностей трубчатых печей П-101 ..... 139

**Шейко А. С.**

Требования пожарной безопасности к объектам переработки газового конденсата ..... 141

**Широкова Д. Н., Шишкина Н. А.**

Особенности усовершенствования системы промышленной безопасности при эксплуатации временной мобильной установки для подготовки нефти ..... 143

**Янкин В. А.**

Учебный стенд по вакуумной электронике ..... 144

**Янкин В. А.**

Учебный стенд для изучения электрических фильтров ..... 149

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Реализация метода прямого цифрового синтеза гармонического сигнала на платах Altera DE2–115 и Data Conversion HSMC

Аверченко Артем Павлович, старший преподаватель;  
Голубев Владимир Владимирович, студент  
Омский государственный технический университет

*В статье авторы реализуют метод прямого цифрового синтеза гармонических сигналов на платах Altera DE2–115 и Data Conversion HSMC.*

**Ключевые слова:** генерация, гармонический сигнал, ПЛИС, Quartus Prime, DE2–115, DAC5672, прямой цифровой синтез.

Плата DE2–115 и плата преобразования данных с разъемом HSMC, на которой установлен цифроаналоговый преобразователь будут подключены между собой по разъему HSMC. Напряжение питания разъема HSMC на плате DE2–115 контролируется элементом JP7 на котором защелкой устанавливается необходимое напряжение 3,3 В.

Для передачи сигнала в цифроаналоговый преобразователь будет использоваться канал Б (channel B). Для тактирования цифроаналогового преобразователя будут использоваться два вывода тактирования: прямой FPGA\_CLK\_B\_P и обратный FPGA\_CLK\_B\_N. Для выбора тактирования соответствующего канала преобразователя на элементе J17 платы преобразования данных устанавливаются защелки на контакты 1–3, 4–6. Для выбора сигнала тактирования выходного сигнала используется элемент J23 на плате преобразования данных. Соответственно выбранному каналу устанавливаются защелки на контакты 1–3, 4–6. Для подачи сигналов с платы DE2–115 на плату преобразования данных через разъем HSMC необходимо соотнести выводы этих разъемов на каждой из плат. Для правильного порядка назначения выводов необходимо проследить на схемах порядок подачи сигналов тактирования и данных по 14-разрядной шине данных, подключенной на плате к цифроаналоговому преобразователю. Чтобы назначить выводы подключения платы DE2–115 и платы расширения через разъем HSMC по схемам плат была составлена сводная таблица 1.

Для получения синусоидального сигнала на вход ЦАП необходимо подать последовательность отсчетов функции  $y =$

$\sin x$ , следующих с частотой дискретизации  $f_{\text{clk}}$ . Закон изменения функции  $y = \sin x$  во времени сложен и цифровыми методами просто не реализуется. Поэтому наиболее подходящим методом формирования отсчетов функции  $y = \sin x$  является табличный метод. Перекодировочная таблица (Look Up Table) размещается в ПЗУ [1].

Для генерации сигнала была составлена схема в программном обеспечении Quartus Prime Lite. Спроектированная схема представлена на рисунке 1.

Три вида сигнала представлены тремя парами счетчиков с памятью, размерностью в 1024, 256 и 64 отсчетов соответственно. Переключатели SW0 и SW1 управляют выходным сигналом и служат для переключения мультиплексора М. В зависимости от положения переключателей через мультиплексор на выход подаются 1024, 256 или 64 отсчета сигнала. На схеме счетчик импульсов и 14-ти разрядная память принимает импульсы от тактового генератора ПЛИС с вывода CLK. Счетчик импульсов поочередно переключает значения адреса в памяти, которая передает значения на 14-разрядную шину данных платы преобразования данных с цифроаналоговым преобразователем. Входы прямых и обратных тактовых импульсов цифроаналогового преобразователя также подключены к выводу тактового генератора CLK. Принимая цифровые отсчеты с памяти по каналу Б цифроаналоговый преобразователь выдает отсчеты гармонического сигнала на выход платы. Согласно составленной ранее таблице, назначаются выводы на схеме. Через разъем HSMC сигналы данных DB0 — DB13 передаются по ка-

Таблица 1. Соотношение выводов разъема HSMC платы ПЛИС и платы расширения с ЦАП

DE2-115		DAC5672	
Сигнал на плате	Выводы на плате	Номер ножки на платах	Сигнал на ЦАП
RX D P8	PIN_R25	102	DB13
RX D N8	PIN_R26	104	DB12
RX D P9	PIN_T25	108	DB11
RX D N9	PIN_T26	110	DB10
RX D P10	PIN_U25	114	DB9
RX D N10	PIN_U26	116	DB8
RX D P11	PIN_L21	120	DB7
RX D N11	PIN_L22	122	DB6
RX D P12	PIN_N25	126	DB5
RX D N12	PIN_N26	128	DB4
RX D P13	PIN_P26	132	DB3
RX D N13	PIN_P27	134	DB2
RX D P14	PIN_P21	138	DB1
RX D N14	PIN_R21	140	DB0
HSMC CLKOUT P2	PIN_R39	155	FPGA CLK B P
HSMC CLKOUT N2	PIN_R40	157	FPGA CLK B N

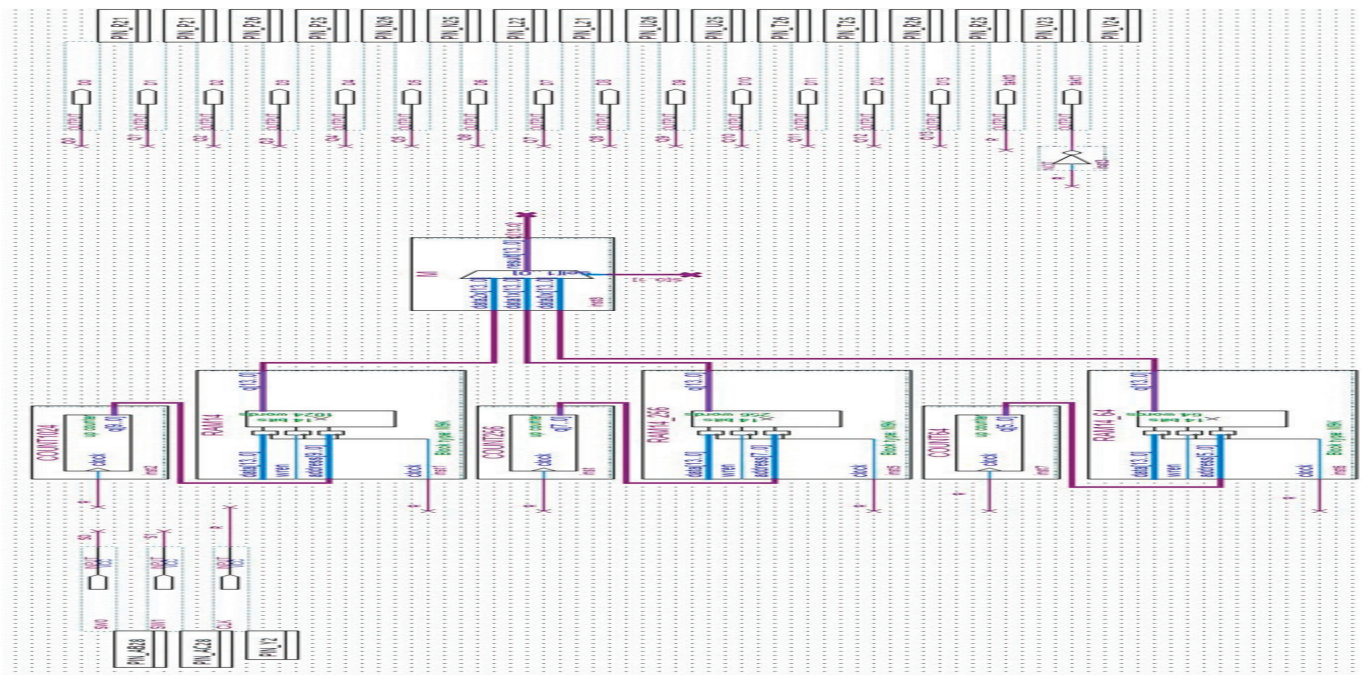


Рис. 1. Схема работы метода прямого цифрового синтеза гармонического сигнала в программе Quartus Prime Lite

налу Б, прямой сигнал тактирования FPGA CLK B P и обратный FPGA CLK B N поступают на выходы тактирования цифроаналогового преобразователя, синхронизируя его работу с платой DE2-115.

Так как отсчеты из памяти подаются в цифроаналоговый преобразователь последовательно выходная частота генерируемого сигнала напрямую зависит от количества отсчетов в памяти. Выходная частота будет кратно меньше исходной частоты тактового генератора (50 МГц) в N раз, где N — количество отсчетов сигнала в памяти.

Отсчеты гармонического сигнала были предварительно сформированы в программе Microsoft Excel размером в 1024, 256 и 64 отсчета для исследования генерации сигнала. Предварительно были получены отсчеты угла, переведены в радианы, высчитан синус угла для каждого отсчета. Из-за специфики памяти значения в ячейках могут быть только целочисленными, поэтому полученные значения угла были переведены в положительные путем суммирования каждого отсчета с единицей, а после помножены до соответствующей размерности: исходя из размерности памяти максимальное значение  $2^{14} = 16384$ ,

отсчеты синуса в диапазоне от 0 до 2, следовательно каждая ячейка была умножена на 8192.

В память на схеме загружены предварительно полученные отсчеты синусоиды в виде 14-разрядного кода, с размерностью по 1024, 256 и 64 отсчетов. Значения ячеек памяти размером в 1024, 256 и 64 отсчета представлены на рисунках 2, 3, 4.

После успешной компиляции программы она загружается на плату для последующего тестирования. Выход канала Б цифроаналогового преобразователя подключается к осциллографу для вывода полученного сигнала. Оборудование для проверки работы схемы генерации представлено на рисунке 5.

Рис. 2. Данные памяти размером в 1024 отсчета разрядностью 14 бит

Addr	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10	+11	+12	+13	+14	+15
0	2000	20C9	2193	225C	2326	23EE	24B6	257D	2644	2709	27CE	2891	2952	2A13	2AD2	2B8F
16	2C4A	2D03	2DBB	2E70	2F23	2FD3	3082	312D	31D6	327C	3320	33C0	345D	34F7	358E	3622
32	36B2	373E	37C7	384C	38CE	394B	39C5	3A3A	3AAC	3B19	3B83	3BE7	3C48	3CA4	3CFC	3D4F
48	3D9E	3DE8	3E2D	3E6E	3EAA	3EE1	3F14	3F41	3F6A	3F8E	3FAD	3FC7	3FDC	3FEC	3FF7	3FFE
64	3FFF	3FFB	3FF2	3FE5	3FD2	3FBB	3F9E	3F7D	3F56	3F2B	3EFB	3EC6	3E8D	3E4E	3E0B	3DC3
80	3D77	3D26	3CD1	3C77	3C18	3BB6	3B4E	3AE3	3A74	3A00	3988	390D	388D	380A	3783	36F8
96	366A	35D8	3543	34AB	340F	3370	32CE	322A	3182	30D8	302B	2F7B	2ECA	2E16	2D5F	2CA7
112	2BEC	2B30	2A72	29B3	28F2	282F	276B	26A7	25E1	251A	2452	238A	22C1	21F8	212E	2064
128	1F9B	1ED1	1E07	1D3E	1C75	1BAD	1AE5	1A1E	1958	1894	17D0	170D	164C	158D	14CF	1413
144	1358	12A0	11E9	1135	1084	0FD4	0F27	0E7D	0DD5	0D31	0C8F	0BF0	0B54	0ABC	0A27	0995
160	0907	087C	07F5	0772	06F2	0677	05FF	058B	051C	04B1	0449	03E7	0388	032E	02D9	0288
176	023C	01F4	01B1	0172	0139	0104	00D4	00A9	0082	0061	0044	002D	001A	000D	0004	0000
192	0001	0008	0013	0023	0038	0052	0071	0095	00BE	00EB	011E	0155	0191	01D2	0217	0261
208	02B0	0303	035B	03B7	0418	047C	04E6	0553	05C5	063A	06B4	0731	07B3	0838	08C1	094D
224	09DD	0A71	0B08	0BA2	0C3F	0CDF	0D83	0E29	0ED2	0F7D	102C	10DC	118F	1244	12FC	13B5
240	1470	152D	15EC	16AD	176E	1831	18F6	19BB	1A82	1B49	1C11	1CD9	1DA3	1E6C	1F36	2000

Рис. 3. Данные памяти размером в 256 отсчетов разрядностью 14 бит

Addr	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
0	2000	232F	2657	296E	2C6D	2F4D	3206	3491
8	36E8	3904	3AE1	3C79	3DC9	3ECD	3F83	3FE8
16	3FFC	3FBF	3F32	3E54	3D2A	3BB6	39FA	37FD
24	35C3	3352	30AF	2DE2	2AF1	27E5	24C4	2198
32	1E67	1B3B	181A	150E	121D	0F50	0CAD	0A3C
40	0802	0605	0449	02D5	01AB	00CD	0040	0003
48	0017	007C	0132	0236	0386	051E	06FB	0917
56	0B6E	0DF9	10B2	1392	1691	19A8	1CD0	2000

Рис. 4. Данные памяти размером в 64 отсчета разрядностью 14 бит

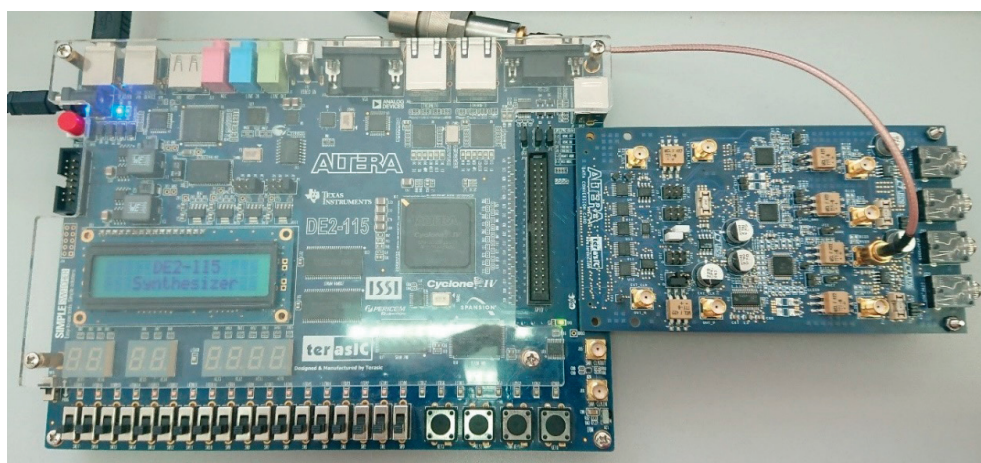


Рис. 5. Плата DE2–115 и плата расширения с цифроаналоговым преобразователем DAC5672

В результате работы схемы было получено представление гармонического синусоидального сигнала на осциллографе

с частотой 800 кГц, 200 кГц и 50 кГц соответственно. Графики сигналов на осциллографе представлены на рисунках 6, 7, 8.

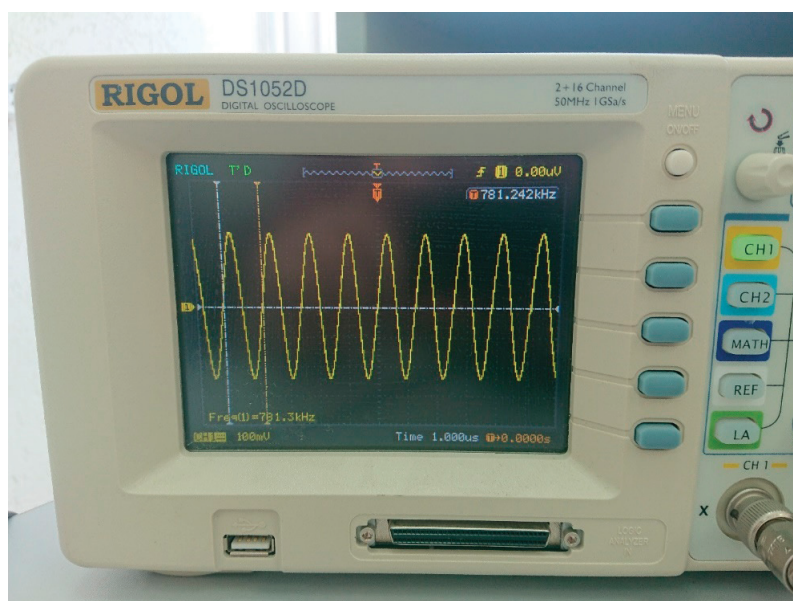


Рис. 6. Синусоидальный сигнал частотой 800 кГц

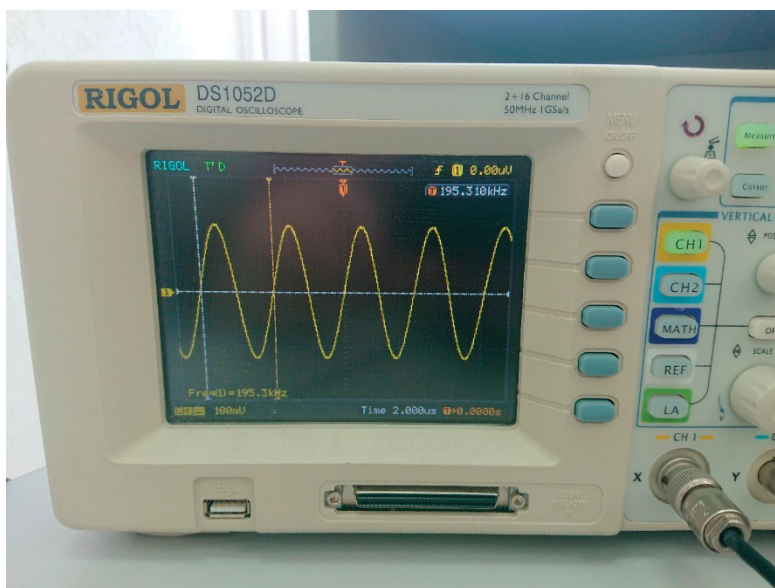


Рис. 7. Синусоидальный сигнал частотой 200 кГц

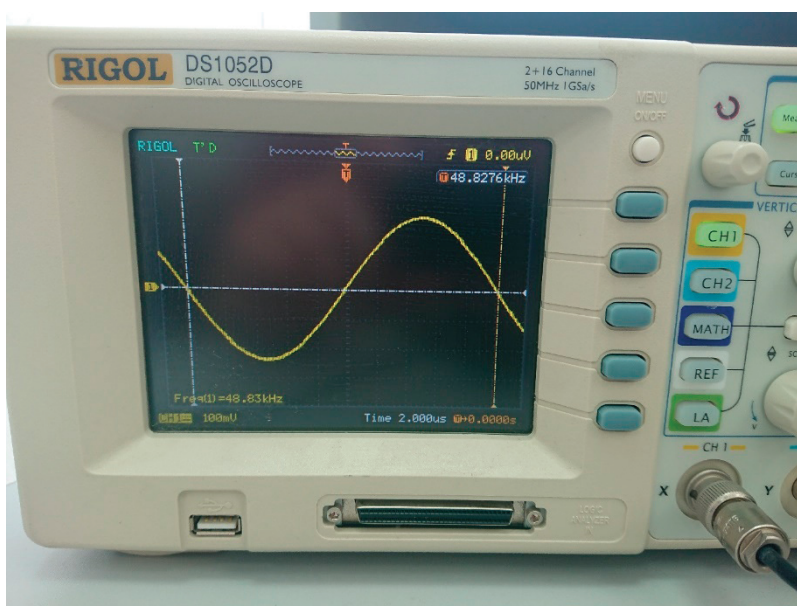


Рис. 8. Синусоидальный сигнал частотой 50 кГц

#### Литература:

1. Тюрин В. А. Метод прямого цифрового синтеза в генераторах сигналов специальной формы SFG-2110 и АКПП-3410/3: учебно-методическое пособие / В. А. Тюрин. — Казань: Казанский федеральный университет, 2015. — 74 с.

## Исследование сложного теплообмена в хлебопекарных печах

Аднабеков Максат Хусанулы, студент магистратуры;

Адильбеков Мамырбек Адильбекович, кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор

Алматинский технологический университет (Казахстан)

С целью определения вклада различных элементов радиационной системы (дымовой канал, боковые стенки, теплообменная поверхность парогазовой среды) в теплообмен за счет конструктивных и определяющих режимных параметров проведено расчетное исследование в технологических камерах промышленных конвейерных хлебопекарных печей. Были даны практические предложения по улучшению использования энергии. Для математического моделирования тепловых процессов используется региональный метод расчета комплексного теплообмена.

**Ключевые слова:** хлебопекарные печи, технологическая камера, комплексный теплообмен, районный метод расчета, тепловые режимы, улучшение энергопотребления.

Хлебопекарные предприятия являются крупными потребителями топлива и электроэнергии. Для производства хлеба в нашей стране используется около 200 000 тонн условного топлива, причем основная часть топлива потребляется печами для выпечки хлеба. Поэтому исследование и улучшение тепловых характеристик этих печей является актуальной задачей промышленной теплоэнергетики.

Промышленные конвейерные хлебопекарные печи представляют собой агрегаты непрерывного действия с радиационно-конвективным теплообменом в технологической камере, при этом лучистая составляющая теплообмена в 2–3,5 раза больше конвективной из-за слабо развитой газодинамики.

Обогрев технологической камеры осуществляется дымовыми каналами (в виде плоских или трубчатых поверхностей теплообмена) или нагревательными элементами, расположенными сверху и внизу рабочей ветви конвейера. Температура теплообменных поверхностей 300–400°C. В настоящее время наибольшее распространение получили каналные отопительные печи.

Технологические камеры современных промышленных конвейерных хлебопекарных печей разделены на относительно самостоятельные участки канального типа, высота конвейера составляет 300–500 мм, ширина около 2000 мм, а длина значительно больше горизонтальных размеров. Объем технологической камеры заполнен парогазовой средой с температурой 200–250°C и относительной влажностью 60–70% в основной рабочей зоне. При этом парогазовая среда может существенно влиять на лучистый теплообмен, поглощая и излучая энергию, то есть в технологической камере происходит сложный теплообмен.

Вклад различных элементов радиационной системы (дымовых каналов, боковых стенок, поверхности теплопередачи парогазовой среды) в теплообмен зависит от конструктивных особенностей технологической камеры и определяющих режимных параметры. В результате невозможно улучшить тепловые характеристики печей без оценки составляющих теплообмена. Поэтому мы проанализировали особенности сложного теплообмена в технологических камерах хлебопекарных печей,

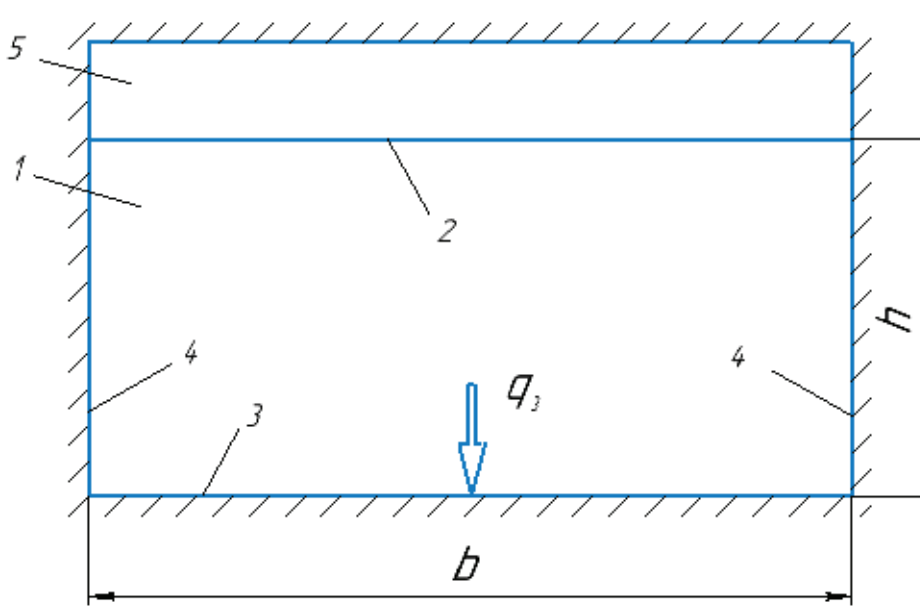


Рис. 1. Сечение технологической камеры печи: 1 — объем технологической камеры; 2 — теплоотдающая поверхность; 3 — теплоприемная поверхность; 4 — сторонняя поверхность; 5 — дым. канал

исходя из их конструктивных особенностей и определения режимных параметров, характерных для их основной рабочей зоны. Для математического моделирования тепловых процессов использован региональный метод расчета комплексного теплообмена в хлебопекарных печах [1].

В простом случае рассмотрим поперечное сечение технологической камеры топки, гладкая теплопередающая поверхность дымового канала расположена над теплоприемной поверхностью конвейера (рис. 1) с размерами:  $b$  — ширина;  $h$  — высота технологической камеры.

Если принять расчетную площадь (рис. 1), то она состоит из 4-х областей: объемной (газовой) области (область 1) и поверхностей — поверхности теплообмена (область 2), теплоприемной поверхности (область 3), боковых стенок (область 4)., то по районному методу [1] для плотности теплового потока на теплоприемной поверхности под конвейером записывается в виде выражения:

$$q_3 = \frac{1}{F_3} \sum_{i=1}^N P_{ij} T_i^4 + \alpha_k (T_1 - T_3)$$

где  $N$  = общее количество зон в расчетной зоне 4; Абсолютная температура  $T_i$ -й зоны; Коэффициент радиационного обмена между зонами  $P_{ij}$ -I и  $j$ ; коэффициент конвективного теплообмена между средой камеры АС (зона 1) и теплоприемной поверхностью (зона 3);  $F_2 = F_3$  область, при решении двумерной тепловой задачи глубина расчетной области равна единице и принимается  $F_3 = b$ ; Зоны  $I$  и  $j$  соответствуют зоне источника и зоне приемника энергии.

Коэффициенты радиационного обмена  $P_{ij}$  рассчитываются на основе разрешенных обобщенных угловых коэффициентов (ОУГ) в полосах спектра излучения парогазовой среды:

$$P_{ij} = \begin{cases} V_i \sigma_0 \sum_{k=0}^K b_{i,k} \chi_i \Psi_{ij,k}, i = [1, N']; \\ \varepsilon_i F_i \sigma_0 \sum_{k=0}^K b_{i,k} \Psi_{ij,k}^*, i = [N \cdot N']; \end{cases}$$

$$\Psi_{ij,k}^* = \begin{cases} \Psi_{ij,k}, j = [1, N'], \\ \varepsilon_j \Psi_{ij,k}, j = [N \cdot N']. \end{cases}$$

где  $N' = 1$  — количество объемных (газовых) зон в расчетной зоне;  $(N - n')$  = количество площадей в зоне расселения 3;  $F_i$ -I-я площадь поверхности; Объем  $V_i$ -газовой зоны;  $\sigma_0$ -Стефана — постоянная Больцмана; Количество полос в  $K$ -квazисостоянии моделирует спектр излучения водяного пара, являющегося основным оптически активным компонентом среды технологической камеры [2];  $b_i$  — доля излучения абсолютно черного тела в  $k$ -й полосе спектра при температуре  $k$ -й зоны;  $\beta_i$ , коэффициент поглощения водяного пара в  $k$ -й полосе  $k$ -спектра при температуре и парциальном давлении  $k$  — порога между зонами  $I$  и  $j$  в  $k$ -полосе спектра.

Перенос излучения в системе зонального излучения и поглощения рассматривается в рамках методики четкого зонального метода, в котором оптико-геометрические характеристики излучения выделяются и рассчитываются в два этапа [2]. Итоговые коэффициенты Рока учитывают несколько отра-

жений излучения в расчетной области и определяются на основе обобщенных угловых коэффициентов (ОКК) путем решения системы уравнений равновесия потоков излучения для площадей рассматриваемой области. Начальные коэффициенты ОКК обычно определяются путем статистического моделирования излучения в региональной абсорбционной системе [1, 2].

Коэффициент конвективной теплоотдачи определяется на основе эмпирических зависимостей от теплоприемной поверхности конвейерной емкости, заполненной хлебобулочными изделиями.

В ходе расчетного исследования относительная высота технологической камеры  $h/b$  являлась переменным параметром (рис. 1), так как именно этот параметр определяет соотношение радиационных тепловых потоков от элементов радиационной системы: поверхность теплообмена, боковые стенки и парогазовая среда. Значение  $h/b$  было изменено, чтобы охватить диапазон возможных изменений этого параметра в хлебопекарных печах. Высота технологической камеры  $H$  варьировалась от 100 до 600 мм, ширина равнялась 2000 мм. таким образом,  $H/b = [0,05; 0,30]$  диапазон варьирования.

Определение параметров режима в основной рабочей зоне технологической камеры колеблется в очень узких пределах и в основном зависит от вида выпекаемого изделия. Для исследования были выбраны значения параметров определяющего режима, характерного для основной рабочей зоны технологической камеры при выпечке пшеничного хлеба. Значения параметров приведены в таблице.

Степень черноты тепловыделяющей поверхности и боковин составляла  $\varepsilon_2 = \varepsilon_4 = 0,8$ . Эффективная степень затемнения теплоприемной поверхности конвейера рассчитывалась с учетом плотности выпекаемых изделий. Эффективная степень затемнения теплоприемной поверхности для литевых изделий составляет  $\varepsilon_3 = 0,83$ .

В результате конвективный теплообмен играет небольшую роль в теплообмене. Значение коэффициента  $A_k$  принималось по данным.

Графически результаты расчета составляющих теплового потока, поступающего на теплоприемную поверхность, в зависимости от параметра  $H/b$  представлены на рисунке. 2.

Анализ результатов расчета при увеличении параметра  $H/b$  (относительная высота технологической камеры) приводит к значительному уменьшению лучистого теплового потока, поглощаемого с поверхности теплообмена дымового канала (в 1,7 раза в диапазоне  $H/b$ ) как за счет увеличения энергопоглощения парогазовой среды, так и с теплообменным устройством. Наблюдается также за счет уменьшения геометрического углового коэффициента поверхностей на теплопринимающей поверхности.

В рассматриваемом диапазоне  $H/b$  геометрический угловой коэффициент уменьшается от 0,951 до 0,744.

Кроме того, происходит увеличение лучистых тепловых потоков от парогазовой среды и боковых стенок к теплопринимающей поверхности технологической камеры.

Увеличение толщины парогазового слоя, а следовательно, степени его затемненности способствует росту лучистого

Таблица 1. Определение параметров режима в основной рабочей зоне технологической камеры

Параметр	Маркировка	Размер	Видимо
Температура поверхности теплообмена	τ 2	°С	300
Температура теплоприемной поверхности	τ 3	°С	100
Температура боковой поверхности	τ 4	°С	270
Температура внутренней парогазовой среды	τ 1	°С	250
Относительная влажность среды	φ	%	70
Парциальное давление пара	п п	МПа	0,07
Коэффициент конвективной теплоотдачи к поверхности, принимающей тепло	α к	Вт / (м 2 К)	5

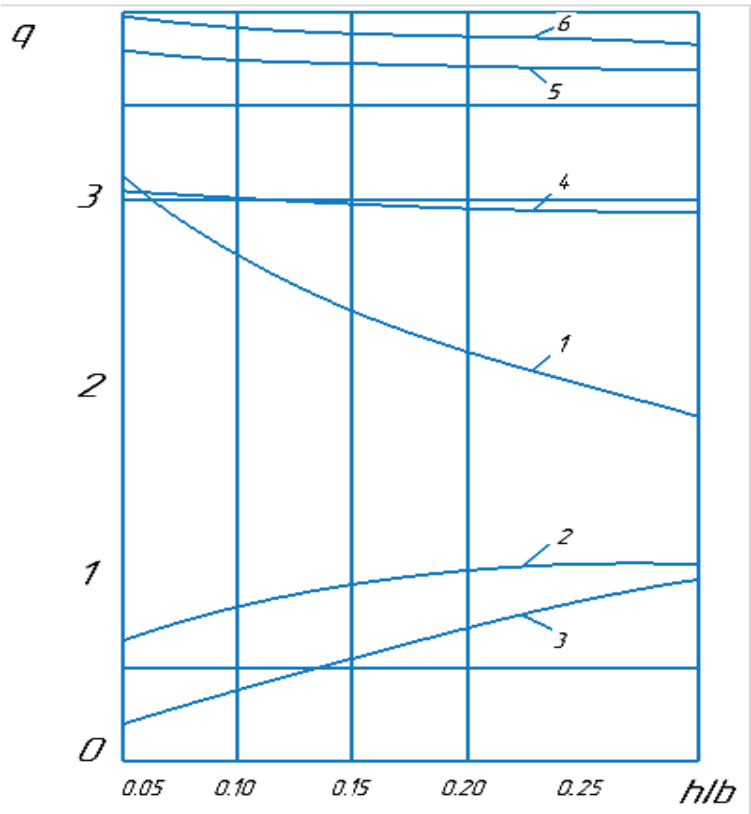


Рис. 2. Составляющие удельного теплового потока к теплоприемной поверхности:  
1, 2, 3, 6 — потоки поглощенного излучения; 4 — суммарный поток принятого излучения; 5 — тепловой поток РК

теплового потока из внутренней среды технологической камеры. Однако угловой коэффициент излучения на теплоприемной поверхности уменьшается, что способствует замедлению роста, особенно при больших значениях параметра  $h/b$ . В рассматриваемом диапазоне  $H/b$  степень затемнения гладкого слоя среды с эффективной толщиной  $L = 1,8 h = 360$  среды 1080 мм увеличивается с 0,19 до 0,60, а соответствующая доля в общей поглощаемой среде составляет радиационная  $t$

По мере увеличения  $H/b$  увеличивается площадь поверхности боковин. Боковины имеют достаточно высокую температуру за счет интенсивного нагрева излучением. Лучистый тепловой поток, поглощаемый боковыми стенками в диапазоне  $H/b$ , возрастает линейно и увеличивается от 5 до 26% вплоть до  $La$ .

Суммарный поток теплового излучения (как поглощенного, так и полученного) от всех элементов системы к теплоприемной поверхности мало меняется с увеличением параметра  $H/b$ , несмотря на значительное изменение соотношения его составляющих.

Таким образом, если увеличение относительной высоты технологической камеры и не приводит к существенному уменьшению теплового потока, образующегося в результате заданных параметров определяющего режима, то способствует резкому снижению интенсивности теплоотдачи от теплообменную (радиационную) поверхность дымового канала, увеличение расхода тепла на обогрев внутренней среды и расхода пара на ее увлажнение. Следует отметить, что увеличение излучения боковых стенок приводит к неравномерному прогреву теплоприемной поверхности конвейера, что может негативно

сказаться на процессе приготовления пищи. Поэтому целесообразно максимально уменьшить высоту технологической камеры для эффективного использования энергии.

В относительно высокотехнологичных конструкциях камерных печей возможной альтернативой является дополнительный подогрев внутренней среды за счет непосредственного вдвухания горячего воздуха и пара температурой 200–250°C при

снижении тепловой нагрузки на дымоходы газоохладителем. температура 5500°C.

Выявленные особенности сложных режимов теплообмена в промышленных хлебопекарных печах необходимо учитывать при проектировании новых и реконструкции существующих печей с целью улучшения теплотехнических и технологических показателей эксплуатации.

#### Литература:

1. Блох А.Г. Теплообмен излучения / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. М: Энергоатомиздат, 2015. 432 с.
2. Маклюков И.И. Промышленные печи хлебопекарного и кондитерского производства / И.Я. Маклюков, В.Я. Маклюков. М.: Легкая и пищевая промышленность, 2020. 272 с.

## Математические модели поддержки принятия управленческих решений как один из механизмов совершенствования деятельности пожарно-спасательных подразделений

Ахметшин Айнура Айратович, студент магистратуры  
Академия государственной противопожарной службы МЧС России (г. Москва)

*В статье предложены математические модели, базирующиеся на вероятностном распределении основных параметров оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений.*

**Ключевые слова:** математическая модель, эмпирическая вероятность, теоретическая вероятность, частота.

На сегодняшний день, оценка уровня оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений проводится путем анализа статистических показателей, зарегистрированных в ходе процесса пожаротушения, за определенный период времени.

По результатам вышеуказанных исследований формулируется вывод о необходимости совершенствования деятельности сил и средств пожарной охраны.

С целью упрощения проводимых оценочных процедур, а также для реализации возможности заблаговременного прогнозирования оперативной обстановки в районах выезда пожарно-спасательных частей и определения достаточности технического ресурса в штате подразделений предлагается применение следующих математических моделей поддержки принятия управленческих решений, базирующихся на статистическом аппарате данных:

- математическая модель определения частоты привлечения пожарной техники для обслуживания вызовов;
- модель динамики показателя вероятностного распределения числа вызовов в пожарно-спасательном гарнизоне по суткам;
- математическая модель распределения времени обслуживания вызовов;
- модель, определяющая критерий одновременной занятости пожарной техники обслуживанием выезда, связанным с пожаром.

Ознакомимся подробнее с сущностными характеристиками каждой из предложенных моделей, что, в свою очередь, позволит оценить эффект от их реализации.

Математическая модель определения частоты привлечения пожарной техники для обслуживания вызовов базируется на вероятностном распределении числа вызовов  $m_i$  и количества привлекаемых для их обслуживания пожарных автомобилей  $i$ . За анализируемый период, как правило, принимается 365 дней, поскольку данный временной промежуток является показательным и позволяет детально отразить динамику исследуемых параметров [1].

Рассматриваемая модель включает в себя математические уравнения по определению абсолютных  $m_i$  и относительных частот  $\omega_i$  привлечения технического ресурса пожарно-спасательных подразделений.

По результатам расчетов определяется средняя численность выезжающих на один вызов пожарных автомобилей:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^L i \cdot m_i}{N} \quad (1)$$

где  $i$  — число выезжавших по вызову ПА, ед.;

$m_i$  — значение абсолютной частоты вызовов, ед.;

$N$  — общая численность вызовов за анализируемый период, ед.

Таким образом, реализация предложенной математической модели позволяет определить фактически требуемое минимальное количество пожарных автомобилей в штате пожарно-спасательной части.

На основании проведенных расчетов должностные лица из числа руководящего состава подразделения могут принимать управленческие решения и формулировать предложения по осуществлению дополнительного комплектования ПСЧ по-

жарными автомобилями с целью повышения уровня оперативной готовности.

Сущность модели, характеризующей динамику показателя вероятностного распределения числа вызовов в пожарно-спасательном гарнизоне по суткам, заключается в определении эмпирической и теоретической вероятности привлечения подразделений пожарной охраны для проведения боевых действий по тушению пожаров за указанный промежуток времени [2].

Эмпирическая вероятность  $\omega_k$  того, что в интервале времени равным 1 суткам в городе произойдет  $k$  вызовов, оценивается как доля, которую в общем числе  $M$  суток составляет число суток, в течение которых произошло  $k$  вызовов:

$$\omega_k = \frac{m_k}{M} \quad (2)$$

где  $m_k$  — количество суток с определенной численностью выездов  $k$  ( $k = 0, 1, 2, \dots, n$ ), ед.;

$M$  — общее количество анализируемых суток, ед.

Теоретическая вероятность подчиняется закону распределения Пуассона и определяется следующим образом:

$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda \tau)^k}{k!} e^{-\lambda \tau} \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (3)$$

где  $\lambda$  — плотность потока вызовов, т.е. среднее число вызовов, поступающих за единицу времени  $\tau$ .

Резюмируя вышесказанное, стоит отметить, что полученные в ходе расчетов по данной модели результаты позволят оценить загруженность кадрового и технического ресурсов пожарно-спасательных подразделений и разработать концепцию по минимизации вероятности отказов в обслуживании вызова.

Математическая модель распределения времени обслуживания вызовов позволяет оценить длительность времени обслуживания  $\tau_{\text{обсл.}}$   $m_j$ -го количества вызовов, попадающих в  $j$ -й интервал времени  $[0, 30]$ ,  $[30, 60]$ ,  $[60, 90]$ ,  $[90, 120]$ ,  $[120, \infty]$ .

В основе данной модели лежит следующее уравнение:

$$\tau_{\text{ср.обсл.}} = \frac{\sum_{j=1}^V \tau_j^c \cdot m_j}{N}, \quad (4)$$

Литература:

1. С. Ю. Попков Методика оценки пожарных рисков в городах и сельской местности России: журнал «Технологии техно-сферной безопасности», выпуск № 5. — М.: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2012, — 11 с.
2. Гаврилей В. М., Панова Р. Г., Головина Г. Н. Классификация городов по пожарной опасности // Сб. «Проблемы пожарной безопасности объектов и административно-территориальных единиц». — М.: ВНИИПО, 2018, — 30 с.
3. Фирсов А. Г., Мешалкин Е. А., Порошин А. А. Зонирование территории Российской Федерации по показателям обстановки с пожарами с позиции климатических факторов // Пожарная безопасность, 2018, — 45 с.
4. Малько В. А. Модель и алгоритмы реорганизации региональной системы обеспечения пожарной безопасности на основе оценки пожарных рисков // Пожарная безопасность, 2020, — 2 с.

где  $\tau_j^c$  — середина  $j$ -ого интервала.

По результатам расчетных процедур выявляется среднее время обслуживания вызовов и интервал времени, характерные для подразделений, дислоцированных на территории исследуемого пожарно-спасательного гарнизона, что, в свою очередь, позволяет оценить уровень их оперативного реагирования и своевременно принять меры по его повышению.

В заключении данной научной статьи рассмотрим, предложенную автором математическую модель поддержки принятия управленческих решений, основанную на вероятностном распределении одновременной занятости пожарной техники обслуживанием вызовов.

С целью определения вероятности  $P_k$  того, что в произвольный момент времени обслуживанием вызовов в городе будут одновременно заняты  $k$  пожарных автомобилей, используем следующие формулы:

$$P_k = \frac{\alpha}{k} \sum_{i=1}^k i \omega_i P_{k-i} \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (5) (6)$$

где  $\alpha$  — приведенная плотность потока вызовов в городе, ед. [3];

$\tau_{\text{ср.обсл.}}$  — длительность времени обслуживания, ч;

$\omega_i$  — относительная частота привлечения  $i$  пожарных автомобилей для обслуживания вызовов, случае/ед. [4]

Таким образом, по результатам расчетов возможно получение эмпирических сведений о вероятности одновременной занятости пожарных автомобилей, суммарной продолжительности их обслуживания и частоте возникновения анализируемых ситуаций.

В завершении стоит отметить, что рассмотренные в ходе статьи модели направлены на детальное математическое моделирование процесса функционирования пожарно-спасательных подразделений и способствуют формированию достоверной оценки эффективности их деятельности.

Реализация предложенных моделей позволяет выработать заблаговременные управленческие решения по совершенствованию процесса выполнения основных оперативных задач караульной службы.

## Энергетический анализ и прогнозирование на 2023 год

Баширова Альмира Филаритовна, студент магистратуры  
Уфимский государственный нефтяной технический университет

*В данной статье рассматриваются долгосрочные тенденции в области энергетики в Соединенных Штатах. Со времени проведения АЕО в прошлом году многое изменилось, в первую очередь принятие Закона о снижении инфляции (IRA) [1], публичного закона 117–169, который изменил политический ландшафт, который используется для разработки прогнозов.*

**Ключевые слова:** IRA, природный газ, США, АЕО, NDC, нулевой выброс углерода.

Выбросы CO<sub>2</sub>, связанные с энергетикой, снижаются во всех случаях АЕО 2023 из-за увеличения электрификации, повышения эффективности оборудования и увеличения выработки электроэнергии с нулевым выбросом углерода.

Прогнозируется, что к 2030 году выбросы CO<sub>2</sub>, связанные с энергетикой, в США снизятся на 25–38% по сравнению с уровнем 2005 года. Для справки, определяемый на национальном уровне вклад Соединенных Штатов (NDC), представленный в рамках Парижского соглашения, предусматривает целевой показатель в размере от 50% до 52% чистых выбросов парниковых газов ниже уровня 2005 года к 2030 году [2]. Рассматривается только выбросы CO<sub>2</sub>, связанные с энергетикой, которые не охватывают весь объем NDC. Общий объем выбросов CO<sub>2</sub>, связанных с энергетикой, в 2050 году снизился на 17% в базовом варианте этого года по сравнению с прошлым годом. Некоторые из основных факторов, которые способствовали изменению базового сценария, включают IRA, обновление затрат на технологии и производительности в энергетической системе, а также изменения в макроэкономических перспективах. Все случаи АЕО 2023 основаны на действующих законах и нормативных актах, и по сравнению с прошлогодним АЕО наблюдается значительный сдвиг в сторону снижения будущих выбросов. IRA представляет собой сложный законодательный акт, и не смогли смоделировать все положения, учитывая структуру модели и неопределенность в отношении отдельных деталей реализации. Приложение содержит подробный отчет о положениях IRA и о том, как их рассматривали. Для дальнейшего изучения возможных сокращений выбросов также рассчитали конус неопределенности, основанный на эмпирическом анализе прошлых прогнозов, и пришли к выводу, что сокращение выбросов CO<sub>2</sub>, связанное с энергетикой, может быть на целых 45% ниже уровня 2005 года в 2030 году.

В целом, прогнозируемое нами снижение выбросов CO<sub>2</sub> в США, связанных с энергетикой, обусловлено повышением электрификации, эффективности оборудования и возобновляемых технологий производства электроэнергии. Однако сокращение выбросов ограничено долгосрочным ростом транспортной и промышленной активности в США. В результате эти прогнозируемые сокращения выбросов наиболее чувствительны к предположениям относительно экономического роста и стоимости технологии с нулевым выбросом углерода.

Возобновляемые генерирующие мощности растут во всех регионах Соединенных Штатов во всех случаях АЕО 2023, чему способствует рост установленной емкости аккумуляторных батарей.

В АЕО 2023 наблюдается стабильный рост спроса на электроэнергию в США до 2050 года во всех рассмотренных нами случаях из-за растущей электрификации и продолжающегося экономического роста. Сочетание снижения капитальных затрат и государственных субсидий, включая инициативы IRA, стимулирует развитие технологий производства электроэнергии из возобновляемых источников, таких как солнечная энергия и ветер. После строительства и при наличии ресурсов ветер и солнечная энергия являются наименее затратными ресурсами для удовлетворения спроса на электроэнергию, поскольку они имеют нулевые затраты на топливо. Со временем совокупное преимущество в инвестициях и эксплуатационных расходах увеличивает долю производства электроэнергии с нулевым выбросом углерода. В результате, в 2023 году рост мощностей по производству энергии из возобновляемых источников во всех регионах Соединенных Штатов во всех случаях. Во всех случаях, по сравнению с 2022 годом, мощность солнечной генерации вырастет примерно на 325% до 1019% к 2050 году, а мощность ветряной генерации вырастет примерно на 138% до 235%. Наблюдается рост установленной емкости аккумуляторов во всех случаях, чтобы поддержать этот рост в области возобновляемых источников энергии. Во всех случаях УЭО, по сравнению с 2022 годом, мощность производства природного газа к 2050 году увеличится от 20% до 87%.

Технологические достижения и электрификация приводят к прогнозируемому снижению энергоемкости на стороне спроса.

Меняется не только структура электроэнергетического сектора США, но и наблюдается рост электрификации в секторах конечного потребления. Проектируется все больше тепловых насосов и электромобилей, а также электродуговых печей, которые все чаще используются в черной металлургии. В жилом и коммерческом секторах повышение эффективности оборудования и ужесточение строительных норм способствуют продолжающемуся снижению энергоемкости. Несмотря на рост использования тепловых насосов, отопительное оборудование, работающее на природном газе, включая печи и котлы, по-прежнему будет составлять наибольшую долю потребления энергии для обогрева помещений в жилых и коммерческих зданиях США во всех случаях до 2050 года. В транспортном секторе спрос на электроэнергию для малотоннажных транспортных средств снизится до 2045 года по мере внедрения большего количества электромобилей и ужесточения корпоративных стандартов средней экономии топлива (CAFE), что в значительной степени компенсирует продолжающийся рост спроса на поездки. Затем потребность в энергии возрастает по мере того,

как увеличение скорости движения преодолевает повышение эффективности. Во всех случаях потребность в энергии для малотоннажных транспортных средств снизится на 3% до 28% в 2050 году по сравнению с 2022 годом.

Высокий международный спрос приводит к продолжающемуся росту производства в США и в сочетании с относительно небольшим ростом внутреннего потребления позволяет Соединенным Штатам оставаться чистым экспортером нефтепродуктов и природного газа до 2050 года во всех случаях до 2023 года.

Несмотря на отсутствие существенных изменений в потреблении нефти и других жидкостей внутри страны до 2040 года в большинстве случаев до 2023 года, ожидается, что производство в США останется исторически высоким, поскольку экс-

порт готовой продукции растет в ответ на растущий международный спрос. Несмотря на переход к возобновляемым источникам и батареям при производстве электроэнергии, потребление природного газа внутри страны остается относительно стабильным, в большинстве случаев прекратив недавний рост. Однако добыча природного газа в некоторых случаях продолжает расти в ответ на международный спрос на сжиженный природный газ, поддерживаемый попутным природным газом, добываемым наряду с сырой нефтью. Учитывая сочетание относительно небольшого роста внутреннего потребления и продолжающегося роста производства, мы прогнозируем, что Соединенные Штаты останутся чистым экспортером нефтепродуктов и природного газа до 2050 года во всех случаях до 2023 года.

#### Литература:

1. Электроэнергия, производимая из определенных возобновляемых ресурсов и т.д., 26 § 45 Кодекса США (2022)
2. Энергетический кредит, 26 § 48 Кодекса США (2022)

## Сохранение энергии при прямом численном моделировании многофазных потоков с разрешением на границе раздела фаз

Баширова Альмира Филаритовна, студент магистратуры  
Уфимский государственный нефтяной технический университет

*В контексте деформируемых пузырьков поверхностное натяжение происходит динамический обмен между кинетической и поверхностной упругой энергией. Этот обмен энергией имеет отношение к динамике пузырьков, например, к турбулентности или уменьшению сопротивления. К сожалению, лежащий в основе физический механизм не может быть точно объяснен современными численными методами. В частности, численное нарушение сохранения энергии приводит к неконтролируемой эволюции системы и порождает известные численные патологии. Чтобы решить эти проблемы рассматривается два наиболее проблемных условия в численной формулировке: конвекцию и поверхностное натяжение. Определяются ключевые математические тождества, которые подразумевают как физическое сохранение, так и численную стабильность,*

*Представляется полудискретизация задачи, которая полностью сохраняет энергию, и оценивается их устойчивость в терминах дискретных энергетических вкладов. Численные эксперименты демонстрируют устойчивость метода и его эволюцию энергии для застойных и осциллирующих невязких пузырей. Результаты показывают устойчивую, а также ограниченную динамику системы, представляющую ожидаемый физический механизм.*

**Ключевые слова:** сохранение энергии, динамика пузырьков, захват интерфейса, консервативное множество уровней.

Турбулентные пузырьковые потоки часто встречаются в инженерных системах, например, пузырьковые колонны или трубы с пузырьками, и приводят ко многим интересным физическим явлениям, которые требуют дальнейшего понимания. Два наиболее практических применения пузырьковых потоков являются снижение сопротивления и химическая селективность.

С момента своего появления в 1970-х годах уменьшение сопротивления привлекло значительный исследовательский энтузиазм, в основном мотивированный военно-морскими приложениями. Многообещающее снижение сопротивления достигает до 80% [1], оно может значительно уменьшить расход топлива и выбросы. В то время как всеобъемлющее понимание физических механизмов до сих пор отсутствует [2] недавние

исследования предполагают, что деформация пузырьков является причиной значительного снижения сопротивления, в частности, в пузырьковом следе. Другой примечательной особенностью потока особенностью является интенсификация локальных микропроцессов в химической промышленности, для которой необходимо лучшее понимание для чего также необходимо лучшее понимание локальных транспортных явлений в для чего также необходимо лучшее понимание локальных транспортных явлений в пузырьках.

В связи с тонкой физической настройкой пузырьковых потоков и мелкомасштабных явлений, вовлеченных в такие процессы, численное моделирование является важным инструментом для развития этих технологий. Однако моделирование

многофазных потоков подвержено ряду численных патологий. Эти патологии возникают как из-за различий в физических свойствах, так и из-за включения поверхностного натяжения. свойствах и включением поверхностного натяжения, и проявляются в виде паразитных течений, неправильным расчетом деформации пузырьков, и в конечном итоге численных неустойчивостей. Эти проблемы не только ставят под угрозу жизнеспособность моделирования, но даже когда удается сходимость, они могут исказить важную физику потока, например, обмен поверхностной и турбулентной кинетической энергией между несущей и дисперсной фазами или вклад поверхностного натяжения в вихреобразование в деформированных пузырьках.

Устранение неустойчивостей включает в себя в основном включение методов стабилизации, которые добавляют численную диффузию для стабилизации системы. Однако такой подход может в конечном итоге поставить под угрозу физическую надежность моделирования.

Для решения этих численных проблем был разработан метод прямого численного моделирования (DNS) многофазных потоков представлен. Считается, что, поскольку физика проблемы стабильна, то и численные методы должны быть стабильными, поскольку имитируя те же физические механизмы исходной системы без добавления дополнительных нефизических терминов.

Определив ключевые математические тождества, которые ответственны за сохранение физических переменных, представляющих интерес в дискретной постановке, метод имитирует большинство из них, чтобы обеспечить сохранение основных физических величин.

Был представлен полный энергосохраняющий метод для расчета нескольких канонических конфигураций потока. Это достигается путем идентификации соответствующих математических тождества управляющих уравнений на континуальном уровне и имитации их на дискретном уровне. Это приводит к следующему: для дискретизации конвективной формы, метод накладывает ту же дискретизацию для потока массы и переноса импульса, поскольку они по своей природе являются одной и той же величиной.

#### Литература:

1. Блэкмор, Д., Тинг, Л. 1985. Интеграл поверхности по ее средней кривизне вектора. SIAM Review, 27: 569–572.
2. Брэкбилл, Дж. У., Коте, Д. Б., Земах, К. 1992. Метод континуума для моделирования поверхностного натяжения. Журнал вычислительной физики, 100: 335–354.

Для члена поверхностного натяжения метод связывает интерполяцию кривизны от ячейки к ячейке с интерполятором от клетки к клетке, используемым для переноса маркерной функции.

Эта работа показывает, как энергосохраняющие методы не только имитируют особенности реальной физической системы, но и достигают стабильности с помощью тех же механизмов, что и в физической системе. физической системы. В то время как стабильность гарантируется путем принудительной передачи между кинетической и упругой энергиями в точном соответствии друг другу, нет никакой гарантии, что количество такого переноса является правильным. Необходимы два основных условия: точное представление интерфейса и консервативная дискретизация поверхностного натяжения.

Точность представления интерфейса зависит от транспортной схемы для маркерной функции. Уравнение, и его дискретный аналог уравнение, являются линейными по скорости, и поэтому схема переноса должна быть линейной по скорости. Этому удовлетворяют схемы с ограничением потока схемы, но не другие более сложные схемы переноса схемы, такие как оригинальная CLS.

В физическом смысле это соответствует тому факту, что любая деформация границы раздела, которая не обусловлена деформацией границы раздела, не обусловленная полем скоростей, по своей сути нефизична. Следовательно, если не предпринять особых мер для получения нулевого энергетического на этом искусственном этапе, сохранение энергии будет серьезно нарушено. Этот последний результат предполагает разработку либо энергетически нейтральных ступеней рекомпрессии либо энергетически нейтральных шагов рекомпрессии, либо новых физически совместимых схем высокого разрешения, потенциально включающих рекомпрессионные и антидиффузионные потоки.

Причина отсутствия тривиального сохранения лежит во вложении интерфейса в фоновую эйлеровскую сетку, что приводит к отсутствию явного и закрытого представления поверхности раздела. Это означает, что хотя переносы между кинетической и поверхностной энергиями сбалансированы благодаря энергосохраняющей дискретизации, такой перенос может не быть физически реалистичным.

## Влияние экономической сложности на энергоэффективность и переход к возобновляемым источникам энергии

Баширова Альмира Филаритовна, студент магистратуры  
Уфимский государственный нефтяной технический университет

*В этом исследовании рассматривается роль экономической сложности в достижении энергоэффективности и переходе на возобновляемые источники энергии в 94 странах, рассматривая уровень экономического развития в перспективе. Метод панельной квантильной регрессии применяется для изучения взаимосвязи между условным распределением зависимых переменных. Мы счи-*

таем, что в глобальной перспективе экономическая сложность препятствует как повышению энергоэффективности, так и переходу на возобновляемые источники энергии. В более конкретном случае экономическая сложность не способствует повышению энергоэффективности во всех экономических группах, хотя ситуация улучшается в странах с существующей более высокой энергоемкостью в странах с развитой экономикой и странах с формирующейся рыночной экономикой. Кроме того, это отрицательно сказывается на потреблении возобновляемой энергии и производстве электроэнергии из возобновляемых источников во всех экономических группах, за исключением нескольких количеств, где установлены незначительные или неоднородные результаты. Подводя итог, нельзя сказать, что экономическая сложность способствует повышению эффективности энергетической системы и переходу на возобновляемые источники энергии в силу ряда выявленных факторов. Субсидирование потребления возобновляемых источников энергии, предоставление грантов на внедрение возобновляемых источников энергии и установление стандартов энергоэффективности являются одними из стратегических направлений политики, вытекающих из результатов этого исследования.

**Ключевые слова:** возобновляемый источник энергии, окружающая среда, углекислый газ, экономическая сложность, энергетическая безопасность, ископаемый вид топлива.

Есть утверждение, что для экономического роста и развития многих экономик мира энергетика стала фундаментальной силой, с которой приходится считаться [1]. В то время как положительные внешние эффекты, возникающие в результате использования различных источников энергии, очевидны, особенно в обрабатывающей промышленности и транспортном секторе, их негативные внешние эффекты проистекают из их ухудшающегося воздействия на окружающую среду [2]. Документально подтверждено, что ископаемые виды топлива, такие как сырая нефть, уголь и природный газ, являются основными источниками выбросов углекислого газа, ускоренного ухудшения состояния окружающей среды и изменений климатических условий. [3]. Следовательно, глобальный крестовый поход за энергоэффективность в сочетании с переходом от невозобновляемых источников энергии к возобновляемым источникам энергии со стороны политиков, организаций и академических ученых идет полным ходом [2].

Что касается энергоэффективности, то это уменьшение количества энергии, требуемой для конкретного процесса. Кроме того, это можно рассматривать как способность не препятствовать перспективам роста при задействовании производственных мощностей с таким же или меньшим запасом энергии. Среди энергетических трилемм, которыми являются энергетическая безопасность, устойчивость энергетики и доступность энергии по цене, стоящих сегодня перед различными странами мира, наименее спорным способом решения этих проблем может быть повышение энергоэффективности. Различные страны мира, каждая со своими присущими ей экономическими характеристиками в сочетании со структурной и функциональной структурой, имеют свои отличительные особенности в области эффективной энергетики.

Следовательно, фаза развития каждой страны напрямую связана с энергоемкостью, доступной в данной экономике, что приводит к коррелирующему воздействию выбросов парниковых газов [2]. В Китае, например, в результате высокого уровня урбанизации и широкомасштабной индустриализации энергоэффективность является относительно низкой. Кроме того, страна занимает первое место по загрязнению сточными водами, диоксидом серы и мелкими частицами, а также выбросами углекислого газа. С появлением этих разработок вместо стадии высокоскоростного роста осуществляется высококачественный процесс разработки. В свете этого для управ-

ления экосистемой и сведения к минимуму дальнейшей деградации окружающей среды последовательно разрабатывается политика на блоковом и организационном уровнях, например, в рамках Парижского соглашения по климату, соглашения Европейского союза (ЕС) о выбросах парниковых газов, «Зеленая сделка» ЕС и недавно состоявшаяся Конференция сторон 26 (КС-26) в Глазго, среди многих других. Эти международные соглашения требуют перехода на возобновляемые источники энергии.

Объясняя, как происходил переход энергии с течением времени, выделили три этапа. Первый связан с заменой древесины углем, за которым следует замена угля нефтью. Однако эти два этапа являются неоптимальными с экологической точки зрения и неустойчивыми. Это связано с тем, что, в дополнение к последствиям изменения климата, связанным с этими ископаемыми видами топлива, в виде наводнений, аномальной жары, усиления засухи, повышения уровня моря и затрудненных систем водоснабжения, они известны своей энергетической незащищенностью, нестабильными ценами на энергоносители и т.д. Эти проблемы облегчают третий этап, который предполагает переход от нефти и других видов невозобновляемых источников энергии к возобновляемым источникам энергии. В настоящее время мы живем в этом веке. В дополнение к способности смягчать кризисы, связанные с изменением климата, возобновляемые источники энергии, такие как ветер, солнечная энергия и гидроэнергетика, были признаны подходящими для обеспечения энергетической безопасности и стабильных цен на энергоносители, поскольку они неисчерпаемы.

Факторы, которые могут помочь обеспечить энергоэффективность и переход к возобновляемым источникам энергии, в последнее время стали актуальной темой в экологической литературе. Однако считается, что простота обеспечения эффективности энергетической системы и перехода на возобновляемые источники энергии зависит от степени экономической сложности страны. Экономическая сложность также известна как производительность знаний и сложность производства, поскольку она относится к запасу знаний у населения и методу измерения производственного потенциала страны. Хотя экономическая сложность была признана жизнеспособным предиктором будущего роста и развития, ее функция подобна обоюдоострому мечу. С одной стороны, более сложные страны

ассоциируются с надежными знаниями и производственным потенциалом, таким как человеческий капитал, физический капитал и жизнеспособные институты. Затем они могут быть использованы для производства рафинированных продуктов и более высокотехнологичных товаров, которые могут быть энергосберегающими. Это также может привести к диверсификации производственной базы за счет обширных исследований и разработок. С другой стороны, более высокая экономическая сложность может привести к более высокому росту

и масштабам производства, что, следовательно, приводит к более высокому спросу на энергию. В зависимости от простоты использования возобновляемых источников энергии спрос на ископаемое топливо может возрасти. Таким образом, это ставит под угрозу энергоэффективность и переходный период.

Таким образом, имеющиеся исследования взаимосвязи экономической сложности и окружающей среды в основном сосредоточены на выбросах углекислого газа со смешанными данными.

#### Литература:

1. О. Б. Адекойя «Потребления невозобновляемых источников энергии и мощность производства в США по секторам: анализ асимметричной проблемы с нелинейным ARDL и роль структурных сдвигов» Энергия (2021).
2. М. Хезри «Экологические последствия экономической сложности и ее роль в определении того, как возобновляемые источники энергии влияют на выбросы CO<sub>2</sub>» Приложение Энергия (2022).
3. Б. Ли «Роль возобновляемых источников энергии, потребления ископаемого топлива, урбанизации и экономического роста в выбросах CO<sub>2</sub> в Китае» Энергетический представитель (2021).

## Синхронная регистрация связанных событий в различных точках пространства

Безделов Валерий Леонидович, научный сотрудник;

Шлеменков Антон Леонидович, научный сотрудник

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

*Рассмотрены проблемы, возникающие при организации видеофиксации связанных событий, когда регистрация изображений выполняется в различных точках пространства различными IP-камерами.*

**Ключевые слова:** IP-камера, видеоряд, синхронизация, регистрация события

### Введение

При проведении научно-исследовательских работ возникают ситуации, требующие в процессе проведения эксперимента осуществлять видеофиксацию связанных между собой событий, причем регистрация должна проводиться в различных точках пространства. В [1] предложен вариант построения такой системы регистрации с использованием нескольких широкодоступных типовых WEB-камер, подключаемых к управляющему ПК посредством интерфейса USB2.0. К сожалению, проводное подключение всех регистрирующих камер напрямую к управляющему ПК не всегда представляется возможным — как из-за ограничений максимальной длины USB-соединителя, обусловленных требованиями стандарта USB2.0 к временным задержкам в линии, так и в связи с возможными сложностями физической прокладки кабелей.

### Средства формирования потоков видеоданных

Предлагается рассмотреть вариант построения системы синхронизированной фиксации нескольких видеопотоков в различных точках пространства с использованием IP-камер, осуществляющих передачу аудио- и видеоданных через ло-

кальную сеть посредством беспроводного (Wi-Fi) или проводного (Ethernet) подключения. Такая организация передачи данных позволяет снять ограничение на длину линии связи при проводном подключении. Заметим, что в настоящее время стоимость IP-камер сопоставима со стоимостью WEB-камер.

Современные IP-камеры общего назначения в большинстве своем ориентированы на использование внешних облачных хранилищ, предоставляемых производителем камеры, но на рынке присутствуют и модели, позволяющие транслировать аудио- и видеопотоки на локальный узел, используя специализированные протоколы, например, RTSP (Real Time Streaming Protocol) [2] или ONVIF (Open Network Video Interface Forum) [3]. Также поддерживается возможность записи на карту памяти формата microSD. Стандартный функционал IP-камер включает встроенные календарь и часы с возможностью синхронизации со службой точного времени по протоколу NTP [4], а также возможность вставки в передаваемый видеопоток буквенно-цифровой отметки о дате и времени съемки.

### Средства регистрации потоков видеоданных

Особенностью процессов, для наблюдения за которыми и формируется подобная система видеорегистрации, является

неопределенность точного времени совершения интересующего события, причем временной интервал до этого события от начала процесса наблюдения может составлять от нескольких минут до нескольких часов, что предполагает необходимость либо долговременной регистрации и сохранения видеоданных, либо возможность регистрации видеоданных только во временном интервале, в котором интересующее событие свершилось. Во втором случае необходимо сформировать некоторые признаки, определяющие начало интересующего события и обеспечить их обнаружение в потоке видеоданных, что нередко представляет собой отдельную непростую задачу.

Схожие требования долговременной регистрации нескольких потоков видеоданных и/или выделение некоторых отдельных событий на них характерны для систем видеонаблюдения. Одним из критериев квазиоптимальности такой системы является минимизация использования уникального

оборудования и отказ от разработки специализированных программно-аппаратных решений. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность либо использования функции записи на карту памяти, либо применения программных решений, исполняемых на персональном компьютере (ПК) общего назначения.

Вариант использования карт памяти в зависимости от модели камеры может требовать регулярного физического доступа ко всем IP-камерам для получения доступа к записанному видеоряду, хранящемуся на карте памяти, однако он потенциально может обеспечить более высокую стабильность записи видеоданных на носитель.

Для оценки возможностей построения системы регистрации пространственно разнесенных событий использовались следующие IP-камеры:

- IP-камера TP-Link Tapo C100–2 шт.
- IP-камера TP-Link Tapo C110–1 шт.

Таблица 1. Характеристики используемых IP-камер [5, 6]

	Разрешение видеопотока	Формат сжатия видеоданных	Сетевое соединение Wi-Fi
TP-Link Tapo C100	1920x1080, 1280x720, 640x360	AVC/H.264	Частота 2,4 ГГц. 11 Мбит/с (802.11b), 54 Мбит/с (802.11g), 150 Мбит/с (802.11n)
TP-Link Tapo C110	2304x1296, 1920x1080, 1280x720	AVC/H.264	Частота 2,4 ГГц. 11 Мбит/с (802.11b), 54 Мбит/с (802.11g), 72,2 Мбит/с (802.11n)

Эти камеры, к сожалению, не обладают богатыми возможностями управления при записи на внутреннюю microSD карту. В частности, встроенный планировщик задач позволяет устанавливать запуск записи по расписанию только с шагом в 1 час, доступ к записям на внутренней карте памяти возможен только после выемки карты из камеры. Поэтому далее будем рассматривать только вариант использования специализированного программного обеспечения (ПО). В настоящее время доступны как платные, так и распространяемые для бесплатного или условно бесплатного использования программные системы видеонаблюдения. В рамках оценки возможности решения поставленной задачи предложено опробовать в тестовом режиме бесплатное для некоммерческого применения кроссплатформенное ПО Agent DVR [5]. Agent DVR поддерживает ОС семейств Windows, Linux и MacOS. Управление Agent DVR осуществляется посредством WEB-интерфейса с помощью любого из распространенных браузеров — Chrome, Firefox и т.п. Agent DVR допускает использование в пределах локальной сети без необходимости наличия интернет-соединения с сервером разработчика, а также поддерживает работу как с сетевыми источниками видеоданных (IP-камеры), так и с локальными, в том числе и с WEB-камерами.

Конфигурация управляющего ПК:

- центральный процессор — Intel Pentium J4205,
- оперативная память — 8Гб ОЗУ DDR3,
- система хранения — SSD120Гб, HDD3Тб,

— ОС — Windows 10;

В процессе эксперимента посредством Agent DVR на протяжении 1 часа осуществлялась одновременная запись находящегося в поле зрения всех 3 камер светодиодного индикатора, активируемого через каждые 5 с. Разрешение видеопотока выбрано одинаковым для всех камер и составляет 1280x720 пикселей. Аудиоданные не фиксировались, преобразование формата сжатия видеоданных источника не осуществлялось. Загрузка используемого центрального процессора Intel Pentium J4205 основным процессом Agent DVR на протяжении всего времени записи не превышала 25%, используемый объем оперативной памяти — около 300 Мб. IP-камерами осуществлялось наложение на видеоряд информации о дате и текущем времени согласно внутренним часам камер. Внутренние часы IP-камер перед началом эксперимента были синхронизированы со службой точного времени.

Характеристики зарегистрированных видеопотоков имеют отличия. Данные, полученные с камер C100 имеют заявленную постоянную частоту регистрации кадров, равную 15 кадр·с<sup>-1</sup>. Видеопоток, сформированный камерой C110, имеет переменную частоту кадров с максимальным значением 14 кадр·с<sup>-1</sup>. Имеют место небольшие фрагменты поврежденных видеоданных, что обусловлено нестабильностью работы беспроводной сети Wi-Fi из-за наличия множества абонентов в диапазоне частот, используемом камерами для передачи данных

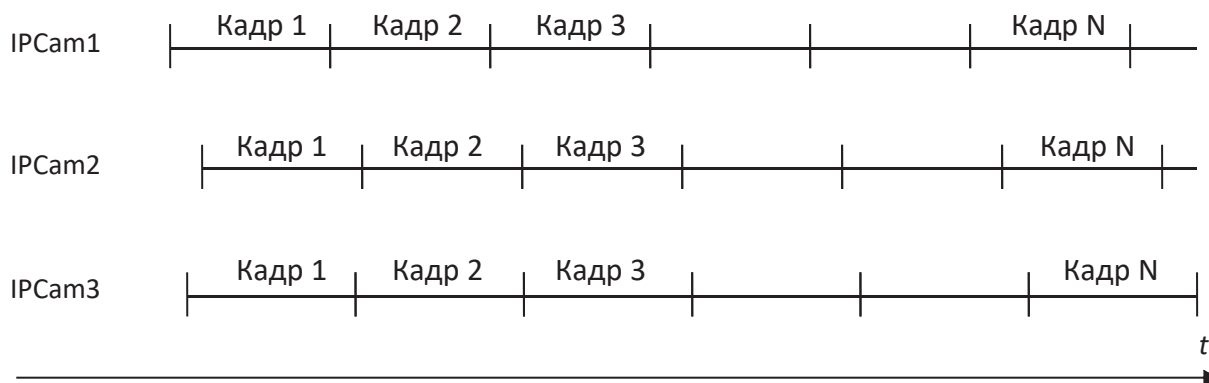


Рис. 1. Временная диаграмма начального этапа процесса записи

Рис. 1 иллюстрирует начальный этап процесса записи.

При регистрации имеет место как различное время начала записи для каждого источника, так и последующее несовпадение времени начала кадров, обусловленное вариациями кадровой частоты в видеопотоках.

Для каждого из полученных видеофайлов производилось определение наличия расхождений по времени посредством

покадрового анализа видеопотока и соотнесения момента смены показаний секунд временных отметок, добавляемых в видеоданные IP-камерами и временных меток результирующих файлов на всем их протяжении. Первая смена временной отметки, добавляемой камерами, принималась за начало отсчета. Величины расхождений между временными метками.

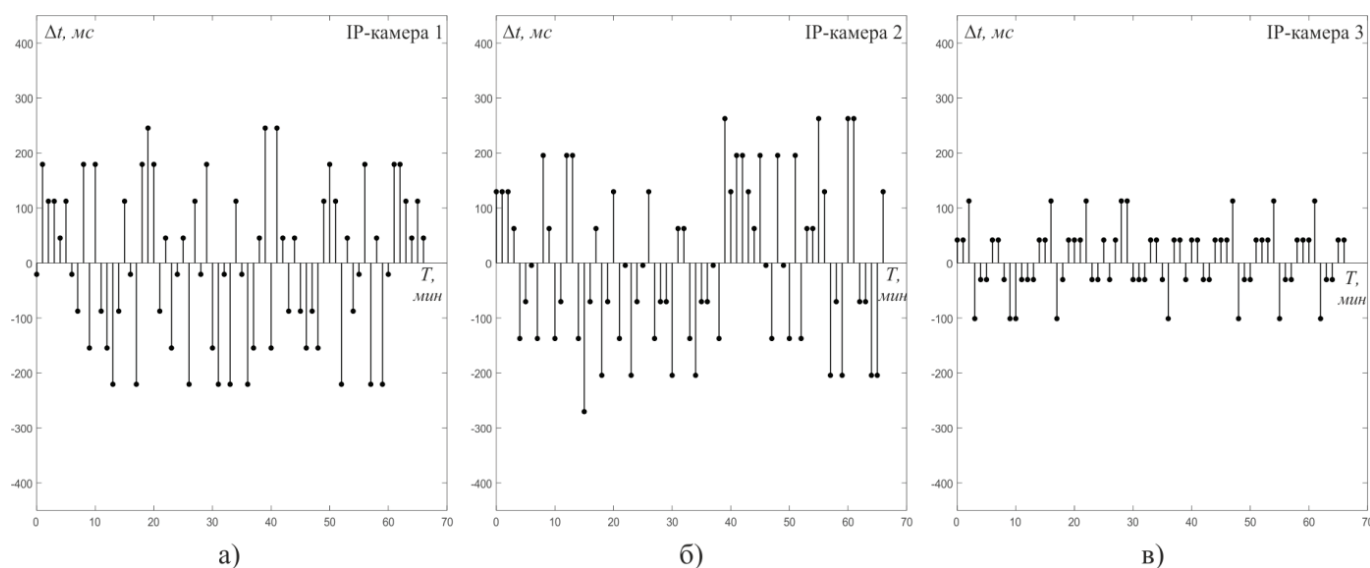


Рис. 2. Расхождения между метками времени, встраиваемыми камерами в видеопотоки, и шкалами времени получаемых файлов

Для оценки точности фиксации момента события во всех трех видеофайлах с некоторым шагом визуально осуществлялись:

- 1) обнаружение с точностью до кадра момента одного и того же изменения состояния наблюдаемого светодиода во всех видеофайлах и фиксация абсолютного времени события;
- 2) определение ближайшего предшествующего момента одинакового изменения состояния внедренных в видеопотоки меток даты и времени методом покадрового поиска;
- 3) фиксация временных интервалов между указанными выше событиями для каждого видеоряда.

Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

## Выводы

Синхронная регистрация связанных событий в различных точках пространства может быть реализована с помощью IP-камер при использовании встроенных часов этих камер как шкал отсчета времени. Использование беспроводной сети Wi-Fi может приводить к искажениям передаваемых видеоданных, что делает предпочтительным в критичных применениях использовать IP-камеры с проводным интерфейсом Ethernet. При повышенных требованиях к точности определения момента события целесообразно использовать IP-камеры с кадровой частотой 25 или 30 кадр·с<sup>-1</sup>.

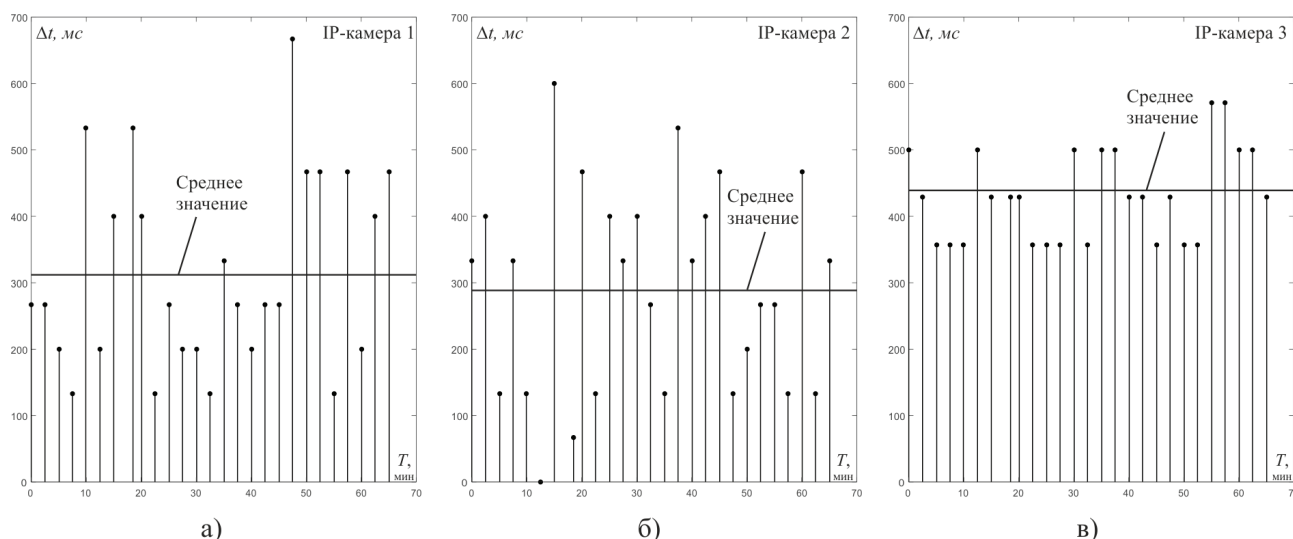


Рис. 3. Оценка точности фиксации момента события для IP-камер по внедренным в видеопоток временным меткам

Использование для регистрации нескольких связанных видеопотоков программных систем видеонаблюдения позволяет

централизованно управлять процессом регистрации и осуществлять его планирование во времени.

#### Литература:

1. P. V. Arakcheev, F. B. Baulin, E. V. Buryi., et al. Juxtapose technique for interconnected events video-streams registered by multiple web-cameras // Progress In Electromagnetics Research Symposium, May 22–25, 2019.
2. RFC2326 — Real Time Streaming Protocol (RTSP). — Текст: электронный // IETF Internet Engineering Task Force: [сайт]. — URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2326> (дата обращения: 09.06.2023).
3. ONVIF Streaming Specification. — Текст: электронный // ONVIF (Open Network Video Interface Forum): [сайт]. — URL: <https://www.onvif.org/specs/stream/ONVIF-Streaming-Spec.pdf?441d4a&441d4a> (дата обращения: 09.06.2023).
4. RFC5905 — Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithms Specification. — Текст: электронный // IETF Internet Engineering Task Force: [сайт]. — URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5905> (дата обращения: 09.06.2023).
5. Agent DVR Userguide. — Текст: электронный // iSpy: Open Source Camera Security Software: [сайт]. — URL: <https://www.ispy-connect.com/userguide-agent-dvr.aspx> (дата обращения: 09.06.2023).

## Обнаружение неисправностей обмотки статора с помощью подачи высокочастотного сигнала для асинхронных двигателей с закрытыми пазами ротора

Буранов Аян Адилгереевич, студент магистратуры

Научный руководитель: Сагындыкова Шолпан Назаровна, кандидат технических наук, доцент

Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева (Казахстан)

В настоящей работе предложена стратегия обнаружения неисправностей витка обмотки статора для асинхронного двигателя (АД) с закрытыми пазами ротора. Эта стратегия основана на влиянии неисправностей на напряжение нулевой последовательности АД, когда трехфазный инвертор в машине подает заданный поисковый сигнал. Стратегия позволяет отделить его от основного возбуждения двигателя. Для оценки осуществимости этого предложения используется упрощенная модель АД с несколькими соединенными схемами.

#### Введение

Повреждение изоляции обмотки статора является одной из наиболее распространенных неисправностей в электрических машинах. Повреждение изоляции обмотки может быть вызвано чрезмерным нагревом, кратковременными перенапряжениями, перемещением обмотки или загрязнением. Такая неисправность приводит к большим токам и перегреву обмотки, что приводит

к серьезным замыканиям «фаза-фаза», «виток-виток» или «виток-земля». Все эти неисправности могут привести к необратимому повреждению обмоток или сердечника статора. Учитывая этот сценарий, в последние годы были исследованы методы быстрого обнаружения возникающих неисправностей между витками во время работы двигателя. Ввод высокочастотного сигнала широко изучался для оценки положения в приводах электродвигателей с низкой частотой вращения, таких как асинхронные двигатели (АД) и синхронные двигатели с постоянными магнитами (PMSM). Эти методы основаны на отслеживании положения некоторых конструктивных асимметрий ротора или насыщенности. Подробный обзор этих методов был недавно представлен Бризом и Дегнером. Неисправности двигателя приводят к асимметрии, которая в некоторых случаях может быть обнаружена с помощью высокочастотных методов, аналогичных тем, которые предлагаются для стратегий оценки местоположения. По этой причине они зарекомендовали себя для обнаружения сломанных стержней, эксцентриситета воздушного зазора и неисправностей статора в АД.

В данной статье представлена стратегия обнаружения неисправностей обмотки статора в АД с переменной скоростью вращения при звездообразном соединении. Эта стратегия основана на эффектах, которые приводят к таким неисправностям, когда на двигатель подается ШИМ-сигнал, добавляемый к основному возбуждению. Это дополнительное возбуждение состоит из заданной последовательности импульсов, подаваемых инвертором. Подача сигнала позволяет отделить стратегию диагностики от основного возбуждения, направленного на генерирование крутящего момента двигателя. Изменения значений индуктивности АД в условиях неисправности приводят к значительным изменениям сигналов, получаемых от напряжения нулевой последовательности, что позволяет проводить начальную диагностику неисправности.

## 1. Модель асинхронного двигателя с неисправностями статора

Для анализа мгновенного обмена данными используется модель многосвязной цепи. В этой модели не учитываются эффекты насыщения и вихревых токов. Кроме того, предполагается, что стержни ротора должны быть изолированы. Рассматривается m-образный статор и n-образный ротор АД. Каркас ротора смоделирован в виде n-идентичных и расположенных на равном расстоянии друг от друга петель с двумя последовательными стержнями плюс токовая петля на одном из колец. Учитывался равномерный воздушный зазор за счет закрытых пазов ротора.

### 1.1. Моделирование неисправности статора

Все модификации модели многосвязной схемы, необходимые для учета неисправностей при повороте обмотки статора, были выполнены.

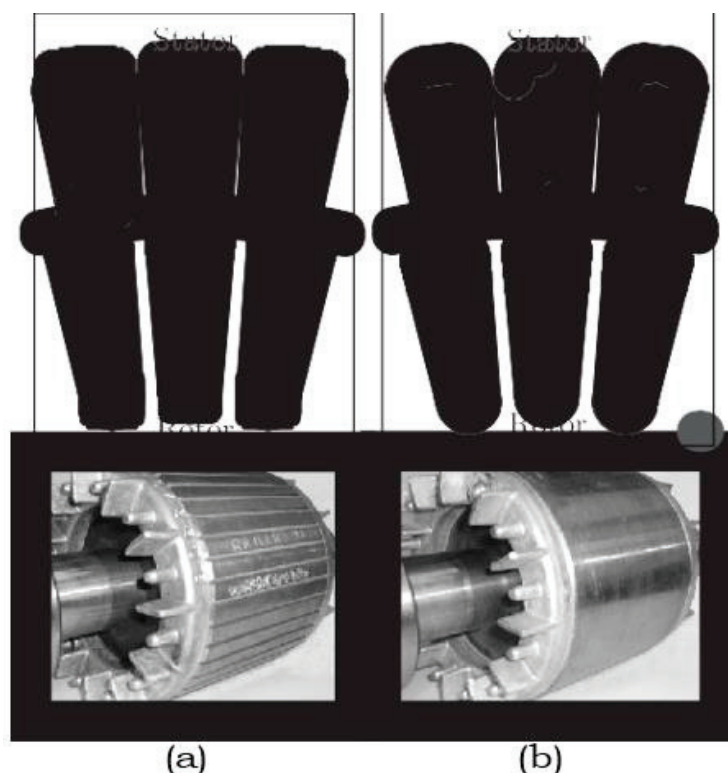


Рис. 1. Различные пазы ротора (а) открытые (б) закрытые

Уравнениями, описывающими динамику АД, являются:

$$V_s = R_s I_s + \frac{d\lambda_s}{dt}; \quad (1)$$

$$0 = R_r I_r + \frac{d\lambda_r}{dt}; \quad (2)$$

$$0 = R_f i_f + \frac{d\lambda_f}{dt}. \quad (3)$$

где,  $V_s$ ,  $I_s$ ,  $\lambda_s$ ,  $I_r$  и  $\lambda_r$  — векторы напряжения, тока и магнитной индукции статора и ротора соответственно.  $R_s$  и  $R_r$  — матрицы сопротивлений статора и ротора соответственно.  $i_f$  и  $\lambda_f$  — это ток и поток, связанные короткозамкнутыми витками соответственно.

Потоки, связанные статором, ротором и короткозамкнутыми витками, задаются:

$$\lambda_s = L_{ss} I_s + L_{sr} I_r + L_{sf} i_f; \quad (4)$$

$$\lambda_r = L_{rs} I_s + L_{rr} I_r + L_{rf} i_f; \quad (5)$$

$$\lambda_f = L_{fs} I_s + L_{fr} I_r + L_{ff} i_f. \quad (6)$$

где,  $L_{ss}$  представляет собой матрицу  $3 \times 3$  с собственной и общей индуктивностями статора;

$L_{rr}$  представляет собой матрицу  $(n+1) \times (n+1)$  с собственной и общей индуктивностями ротора;

$L_{sr}$  представляет собой матрицу  $3 \times (n+1)$  с общими индуктивностями между фазой статора и контурами ротора;

$L_{rs}$  представляет собой матрицу  $(n+1) \times 3$  с общими индуктивностями между контурами ротора и фазами статора;

$L_{sf}$  представляет собой вектор  $3 \times 1$  с общими индуктивностями между цепями статора и замкнутыми витками;

$L_{sf} = L_{fs}^T$ .  $L_{rf}$  представляет собой вектор  $n \times 1$  с общими индуктивностями между контурами ротора и замкнутыми витками в качестве компонентов;

$$L_{rf} = L_{fr}^T;$$

$L_{ff}$  — это собственная индуктивность короткозамкнутых витков, состоящая из индуктивности намагничивания и индуктивности утечки.

## 2. Стратегия обнаружения неисправностей статора

Предлагаемая стратегия основана на эффектах, вызванных асимметрией статора по напряжению нулевой последовательности АД, когда АД возбуждается заданной последовательностью импульсов (исследовательский сигнал), подаваемой трехфазным инвертором. Стратегия заключается в подавлении основного тока, создаваемого контуром управления во время подачи исследовательского сигнала.

Исследовательский сигнал состоит из шести активных состояний трехфазного инвертора Цзяна и Хольца в следующей последовательности:  $u1(+ - -)$ ,  $u4(- + +)$ ,  $u3(- + -)$ ,  $u6(+ - +)$ ,  $u5(- - +)$  и  $u2(+ + -)$ .

Напряжение нулевой последовательности может быть рассчитано следующим образом:

$$u_\sigma = v_a + v_b + v_c. \quad (7)$$

где,  $v_a$ ,  $v_b$  и  $v_c$  — фазные напряжения АД относительно нейтральной точки  $n$ , см. рисунок 2.

Эти напряжения измеряются синхронно с введенной последовательностью импульсов.  $u_\sigma$  зависит от изменений индуктивности и влияния напряжения на скорость, поэтому для стратегии диагностики важно отменить второй эффект. Отмена выполняется путем вычитания напряжений нулевой последовательности для противоположных положений переключения, как:

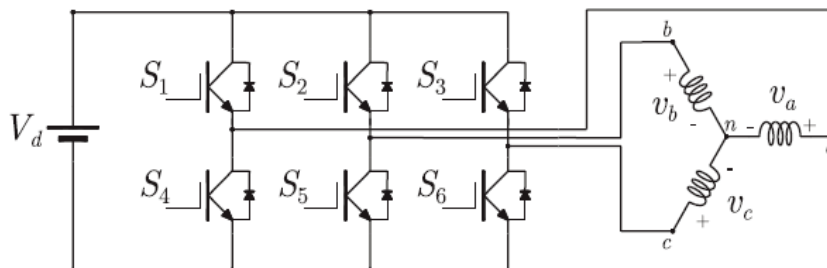


Рис. 2. Трехфазный инвертор и схема АД

$$p_a = u_{\sigma}^{(1)} - u_{\sigma}^{(4)}; \quad (8)$$

$$p_b = u_{\sigma}^{(3)} - u_{\sigma}^{(6)}; \quad (9)$$

$$p_c = u_{\sigma}^{(5)} - u_{\sigma}^{(2)}. \quad (10)$$

Где верхние индексы представляют каждое из шести активных состояний инвертора. Эти сигналы напряжения являются функцией индуктивностей возбуждаемой фазы. Для исправного АД с открытыми пазами ротора сигналы являются почти синусоидальными и имеют период  $m$  на оборот ротора АД, где  $m$  — количество стержней в роторе. Однако в случае закрытых пазов ротора с перекосом эти сигналы можно считать постоянными для исправного двигателя.

Путем преобразования этих трехфазных сигналов в систему координат  $\alpha$ - $\beta$ , закрепленную на статоре, производится:

$$p_{\alpha} = \frac{2}{3}p_a - \frac{1}{3}p_b - \frac{1}{3}p_c; \quad (11)$$

$$p_{\beta} = \frac{2}{\sqrt{3}}p_b - \frac{1}{\sqrt{3}}p_c. \quad (12)$$

Можно определить пространственный вектор  $P = (p_{\alpha}, p_{\beta})$ , который содержит информацию об асимметриях и выступах АД. Неисправность статора вызывает статическую асимметрию и, следовательно, смещение в плоскости  $\alpha$ - $\beta$  сигналов обнаружения.

Обнаружение неисправностей может быть выполнено с помощью модуля вектора  $P$ :

$$s_P = \sqrt{p_{\alpha}^2 + p_{\beta}^2}. \quad (13)$$

Информация о поврежденной фазе получается из угла вектора  $P$  и может быть аппроксимирована следующим образом:

$$\varphi = \text{atan2}(-p_{\beta}, -p_{\alpha}). \quad (14)$$

Этот угол будет близок к 0,  $2\pi/3$  или  $-2\pi/3$ , если неисправность возникает в фазе а, b или с соответственно.

### 2.1. Реализация стратегии обнаружения с использованием одного датчика напряжения

Стратегия, представленная в предыдущем разделе, требует информации о напряжениях фазы АД относительно нейтральной точки. Следовательно, необходимо использование трех датчиков напряжения, этот факт делает реализацию стратегии более дорогостоящей. В этом разделе представлен альтернативный подход, в котором используется один датчик напряжения. Альтернативный подход вычисляет напряжения нулевой последовательности ((8)-(10)), используя отрицательное напряжение линии постоянного тока, измеренное относительно нейтральной точки АД ( $v_m^{(x)}$ ).

На рисунке 3(а) и 3(б) показан инвертор, подключенный к фазам АД для состояний  $u1(+ - -)$  и  $u4(- + +)$  соответственно. Фазные напряжения в зависимости от  $v_m^{(x)}$  и напряжения линии постоянного тока ( $V_d$ ) в каждом состоянии можно выразить в виде:

$$v_a = V_d + v_m^{(1)}; v_b = v_c = v_m^{(1)}; \quad (15)$$

$$v_a = v_m^{(4)}; v_b = v_c = V_d + v_m^{(4)}. \quad (16)$$

Напряжения нулевой последовательности могут быть получены путем замены (15) и (16) в (7), что дает:

$$u_{\sigma}^{(1)} = 3v_m^{(1)} + V_d; \quad (17)$$

$$u_{\sigma}^{(4)} = 3v_m^{(1)} + 2V_d. \quad (18)$$

Таким же образом можно получить  $u_{\sigma}^{(3)}, u_{\sigma}^{(6)}, u_{\sigma}^{(5)}$  и  $u_{\sigma}^{(2)}$  для других состояний. Основываясь на предыдущих напряжениях,  $p_a, p_b$  и  $p_c$  задаются по формуле:

$$p_a = u_{\sigma}^{(1)} - u_{\sigma}^{(4)} = 3(v_m^{(1)} - v_m^{(4)}) - V_d$$

$$p_b = u_{\sigma}^{(3)} - u_{\sigma}^{(6)} = 3(v_m^{(3)} - v_m^{(6)}) - V_d. \quad (19)$$

$$p_c = u_{\sigma}^{(5)} - u_{\sigma}^{(2)} = 3(v_m^{(5)} - v_m^{(2)}) - V_d$$

И  $p_{\alpha}$  и  $p_{\beta}$  могут быть выражены как:

$$p_{\alpha} = 2(v_m^{(1)} - v_m^{(4)}) - (v_m^{(3)} - v_m^{(6)}) - (v_m^{(5)} - v_m^{(2)})$$

$$p_{\beta} = \sqrt{3}(v_m^{(3)} - v_m^{(6)}) - \sqrt{3}(v_m^{(5)} - v_m^{(2)}). \quad (20)$$

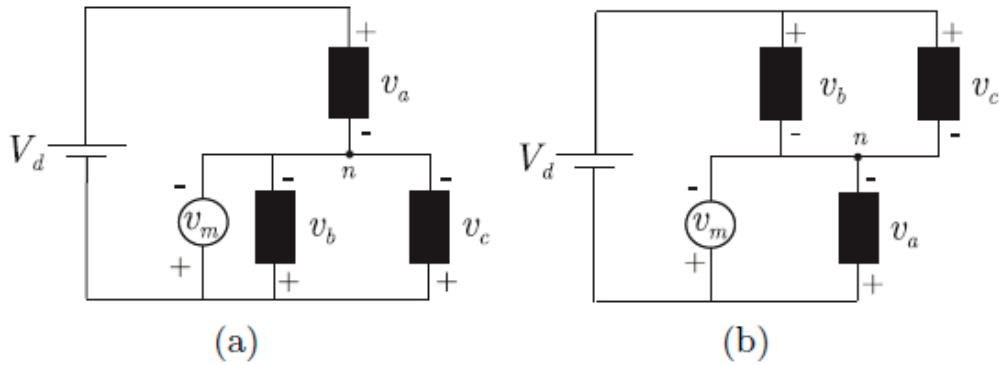


Рис. 3. Подключение фаз инвертора и АД: (а) состояние и1(+ — —), (б) состояние и4(— + +)

Из (20) можно наблюдать, что  $p_\alpha$  и  $p_\beta$  зависят только от измеренного напряжения  $v_m$ . Благодаря этому время выполнения альтернативного подхода стратегии сокращается по сравнению с первоначальным, что позволяет предотвратить искажения в основном сигнале возбуждения АД.

### 3. Анализ влияния неисправности на сигнал обнаружения

Для анализа влияния неисправностей обмотки на диагностические сигналы была использована модель многосвязной схемы с модификациями, предложенными в разделе 1. Если время подачи исследовательского сигнала невелико, то можно пренебречь влиянием электродвижущей силы скорости и падением напряжения на сопротивлении. Таким образом, уравнения для двигателя с неисправностью приводят к:

$$V_s = L_{ss} \frac{dI_s}{dt} + L_{sr} \frac{dI_r}{dt} + L_{sf} \frac{dI_f}{dt}; \quad (21)$$

$$0 = L_{rs} \frac{dI_s}{dt} + L_{rr} \frac{dI_r}{dt} + L_{rf} \frac{dI_f}{dt}; \quad (22)$$

$$0 = L_{fs} \frac{dI_s}{dt} + L_{fr} \frac{dI_r}{dt} + L_{ff} \frac{dI_f}{dt}. \quad (23)$$

Удобно группировать таким образом:

$$V_s = L_{ss} \frac{dI_s}{dt} + L_{srf} \frac{dI_{rf}}{dt}; \quad (24)$$

$$0 = L_{rfs} \frac{dI_s}{dt} + L_{rff} \frac{dI_{rf}}{dt}. \quad (25)$$

Где,

$$I_{rf} = [I_r \ I_f]^T; \quad (26)$$

$$L_{srf} = L_{rfs}^T = [L_{sr} \ L_{sf}]; \quad (27)$$

$$L_{rff} = \begin{bmatrix} L_{rr} & L_{rf} \\ L_{fr} & L_{ff} \end{bmatrix}. \quad (28)$$

Исходя из модели, выраженной формулами (24) и (25), диагностические сигналы могут быть получены как функции индуктивностей двигателя:

$$p_a = -2V_d \frac{M(L_{ss} - L_{srf} L_{rff}^{-1} L_{rfs})^{-1} N_a^T}{M(L_{ss} - L_{srf} L_{rff}^{-1} L_{rfs})^{-1} M^T}; \quad (29)$$

$$p_b = -2V_d \frac{M(L_{ss} - L_{srf} L_{rff}^{-1} L_{rfs})^{-1} N_b^T}{M(L_{ss} - L_{srf} L_{rff}^{-1} L_{rfs})^{-1} M^T}; \quad (30)$$

$$p_c = -2V_d \frac{M(L_{ss} - L_{srf} L_{rff}^{-1} L_{rfs})^{-1} N_c^T}{M(L_{ss} - L_{srf} L_{rff}^{-1} L_{rfs})^{-1} M^T}. \quad (31)$$

где,  $M = [1 \ 1 \ 1]$ ;

$N_a = [2 \ -1 \ -1]$ ;

$N_b = [-1 \ 2 \ -1]$ ;

$N_c = [-1 \ -1 \ 2]$ ;

$V_d$  — напряжение постоянного тока инвертора.

Среднее значение смещения  $s_P$  в зависимости от количества закороченных витков показано на рисунке 4. Можно наблюдать, что при небольшом числе закороченных витков амплитуда составляющей постоянного тока значительно увеличивает свое значение.

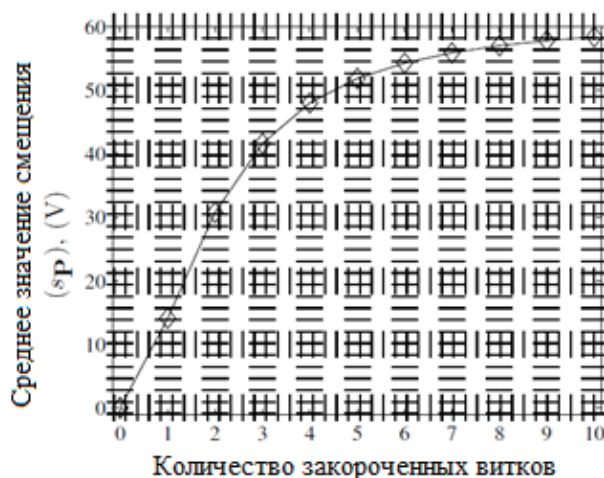


Рис. 4. Результаты моделирования для среднего значения  $s_P$  в зависимости от количества закороченных витков

## Вывод

В этой работе была предложена стратегия обнаружения неисправностей обмотки статора в ИМ. Предложение основано на методах подачи сигнала, которые позволяют отделить стратегию диагностики от основного возбуждения двигателя. Неисправности статора, вызванные закороченными витками, создают непрерывные составляющие диагностических сигналов в плоскости  $\alpha - \beta$ , смещая траекторию вектора  $P$  в направлении, противоположном поврежденной фазе. Поскольку эти неисправности не приводят к изменениям в цепях ротора, компоненты, изменяющиеся в зависимости от положения ротора, не отображаются в диагностическом сигнале. Амплитуда непрерывной составляющей увеличивается при небольшом числе закороченных витков, стремясь к постоянному значению при большом числе закороченных витков. Это позволяет проводить диагностику для очень небольшого числа закороченных витков, что позволяет избежать распространения неисправности на другие обмотки и даже фазы.

## Алгоритм защиты асимметричных асинхронных двигателей

Буранов Аян Адилгереевич, студент магистратуры

Научный руководитель: Сагындыкова Шолпан Назаровна, кандидат технических наук, доцент

Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева (Казахстан)

Данная тема посвящена решению и созданию методики алгоритма защиты асинхронного двигателя от возможных асимметричных состояний, случающихся как внутри, так и снаружи электродвигателя. Вначале программа определяет неисправности, обусловленные немедленными колебаниями тока с удвоенной основной частотой, являющиеся следствием компонентов нулевой и обратной последовательности фаз, далее программа рассчитывает реактивную мощность обратной последовательности для выяснения причины асимметрии. Соответственно, будут анализироваться особенности алгоритма.

## Анализ мощности электродвигателя

Мгновенная мощность измеряется на клеммах асинхронного двигателя и может быть выражена в виде следующей формулы:

$$P(n) = v_R(n)i_R(n) + v_S(n)i_S(n) + v_T(n)i_T(n). \quad (1)$$

Выборочный момент мощности  $p$  может отображаться как  $P(n)$ . Работа двигателя в условиях равновесия представлена в виде вышеупомянутой формулы. В ходе замыкания фазовая разница  $2\pi/3$  между обмотками статора становится асимметричной, и приведены уравнения для величин трехфазового напряжения и тока:

$$\begin{aligned} v_R &= \sqrt{2} V_R \sin(\omega t) \\ v_S &= \sqrt{2} V_S \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ v_T &= \sqrt{2} V_T \sin(\omega t + 2\pi/3); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} i_R &= \sqrt{2} I_R \sin(\omega t - \phi_R) \\ i_S &= \sqrt{2} I_S \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \phi_S) \\ i_T &= \sqrt{2} I_T \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3} - \phi_T). \end{aligned} \quad (3)$$

Далее, как указано ниже, мы можем извлечь производные величины трехфазных напряжений и токов из уравнения (1):

$$\begin{aligned} P_{ins} &= 2v_R i_R \sin(\omega t) \sin(\omega t - \phi_R) + 2v_S i_S \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \phi_S\right) + \\ &+ 2v_T i_T \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} - \phi_T\right); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} P_{ins} &= P_R + P_S + P_T - P_R \cos(2\omega t) - P_S \cos\left(2\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) - P_T \cos\left(2\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) - Q_R \sin(2\omega t) - Q_S \sin\left(2\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) - \\ &- Q_T \sin\left(2\omega t - \frac{2\pi}{3}\right). \end{aligned} \quad (5)$$

Ввиду нижеследующего уравнения:

$$P_R = V_R I_R \cos \phi_R; \quad (6)$$

$$Q_R = V_R I_R \sin \phi_R. \quad (7)$$

Затем уравнение (5) можно упростить до:

$$P_{ins} = P + P_{2m} \cos(2\omega t + \mu). \quad (8)$$

Неравномерный ток, происходящий вследствие последовательностей, изображается в виде косинуса, и как отмечалось ранее, сила тока начинает производить колебания в два раза быстрее основной частоты. Кроме этого, для состояния равновесия двигателя мгновенная мощность выражается следующей формулой без учета неравномерного тока, отображаемого в следующем порядке:

$$P_{ins} = P = P_R + P_S + P_T. \quad (9)$$

Уравнение (10) образуется из уравнения (8), приняв во внимание положительную, обратную и нулевую последовательности. Исходя из этого, значения нулевой последовательности влияют не на силу тока, а на ток положительной последовательности, который является активным, а также ток обратной последовательности, оставаясь неизменным, производит двукратные колебания на фоне основной частоты:

$$P_{ins} = P^+ - P_{2m} \cos(2\omega t + \mu^-). \quad (10)$$

Для преобразования компонента несбалансированной мощности под влиянием элемента обратной последовательности может быть использован нижепредставленный метод дискретного Фурье-преобразования:

$$P_{2m} = \frac{2}{N} \sum P(n) * e^{-\frac{j4\pi n}{N}}. \quad (11)$$

Где  $N$  (11) отражает количество образцов из каждого цикла и установлен, как полагается, на самой лучшей числовой отметке 12. Направление реактивного тока обратной последовательности, отмеченное в случае проблемы, указывает на то, является ли проблема внутреннего или внешнего характера:

$$Q^- = \frac{3}{N} \sum v^-\left(n - \frac{\pi}{2}\right) * i^-(n). \quad (12)$$

Здесь,  $v$  и  $i$  могут быть сформулированы следующим образом:

$$v^-(n) = \frac{v_R(n) + v_S(n - \frac{2\pi}{3}) + v_T(n + \frac{2\pi}{3})}{3}; \quad (13)$$

$$i^-(n) = \frac{i_R(n) + i_S(n - \frac{2\pi}{3}) + i_T(n + \frac{2\pi}{3})}{3}. \quad (14)$$

### Критерии определения блокировок

Во-первых, рассчитывается количество  $P_{2m}$ , но если это количество превышает допустимый предел значения  $P_{unb}$ , то выявляется неисправность. Далее алгоритм устанавливает в ходе процесса реактивная мощность обратной последовательности  $Q^-$ . Принято считать замыкание внутренним при отрицательном знаке расчетной величины и мгновенном сигнале блокировки для изоляции поврежденного двигателя. Из-за номинального тока неравномерный ток должен иметь величину 1 %. Во-вторых, в случае дальнейшего вероятного вывода алгоритм рассчитывает реактивную мощность обратной последовательности, который в результате имеет положительный знак. Принимается во внимание тот факт, что неисправность имеет внешний характер и время отключения резервной защиты двигателя рассчитывается:

$$P_{2m}(pu) = \frac{v_{I^-}}{v_I} = \frac{I^-}{I} = I^-(pu); \quad (15)$$

$$[P_{2m}(pu)]^2 * t = K. \quad (16)$$

Таким образом, время действия защиты от дисбаланса рассчитывается по-разному для разных типов двигателей, исходя из уравнения (16). Постоянная величина  $K$ , способная отвести перегрев неравномерной работы асинхронного двигателя из-за его обмотки, меняется в зависимости от типа двигателя и его свойств. Значение  $K$  варьирует от 1 до 40 в соответствии со стандартами международной электротехнической комиссии МЭК.

Значение  $K$  в работе симуляций установлено на число 11. Рисунок 1 отображает поточную схему целого алгоритма для асинхронной системы защиты.

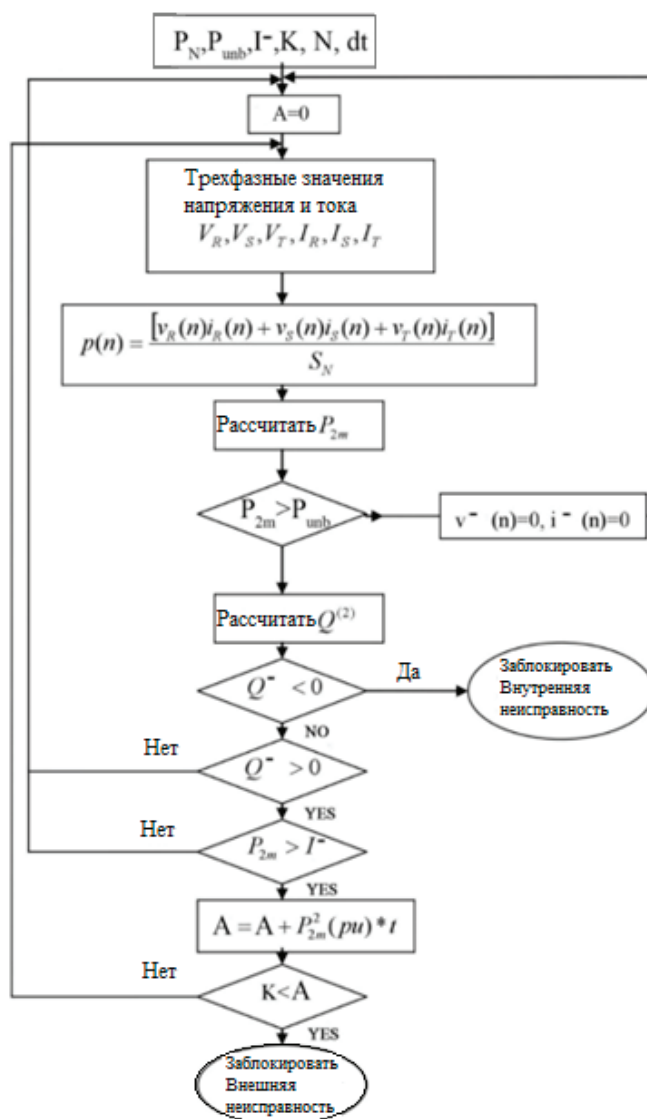


Рис. 1. Схема-алгоритм защиты электродвигателя

В данной схеме представлены внешние и внутренние замыкания.

### Вывод

Метод защиты первым делом находит неисправное состояние от колебаний мощности вдвое больше основной частоты, а затем принимает во внимание обозначение реактивного тока обратной последовательности с целью выяснения, является ли короткое замыкание внутренним или внешним. В режиме равновесия мгновенный ток соответствует величине суммарной мощности. При возникновении дисбаланса происходит короткое замыкание и, если оно обнаруживается как внутреннее, то подается сигнал на не-медленное выключение реле.

## Исследование теоретических аспектов функционирования дежурных служб пожаротушения местных пожарно-спасательных гарнизонов Республики Татарстан

Ганин Алексей Сергеевич, студент магистратуры  
Казанский национальный исследовательский технологический университет

*В статье проведен анализ нормативно-правовых основ и теоретических положений, регламентирующих повседневную деятельность дежурных служб пожаротушения местных пожарно-спасательных гарнизонов Республики Татарстан.*

**Ключевые слова:** служба пожаротушения, местный пожарно-спасательный гарнизон, оперативная деятельность, зона ответственности.

Ежегодно на территории Российской Федерации отмечается рост уровня пожарной опасности. Данный факт обусловлен динамичным ростом количества потенциально опасных производственных объектов, использующих в технологическом процессе взрывопожароопасные вещества и материалы, высокими темпами строительства многоцелевых комплексов различной функциональной направленности и зданий жилого фонда, обладающих сложной планировкой. Вышеперечисленные обстоятельства свидетельствуют о повышении риска возникновения крупных пожаров.

Стоит отметить, что тушение пожаров на объектах различных классов функциональной пожарной опасности существенно отличается друг от друга порядком организации оперативно-тактических действий ввиду особенностей пожарной нагрузки, что, в свою очередь, требует наличия большого практического опыта в области пожаротушения и высокого уровня подготовки сотрудников ведомства МЧС России.

Таким образом, исходя из вышесказанного можно сделать вывод о том, что управление силами и средствами при тушении крупных пожаров должно производиться высококвалифицированными работниками Государственной противопожарной службы МЧС России, владеющими широким массивом знаний в различных областях науки, совокупностью тактических приемов и развитым тактическим мышлением.

С целью реализации задачи по эффективному управлению силами и средствами, в рамках процесса по тушению крупных пожаров на территории Российской Федерации, функционируют службы пожаротушения.

В рамках статьи рассмотрены аспекты деятельности служб пожаротушения территориальных отрядов Главного управления МЧС России по Республике Татарстан, выступающих

в роли координационного органа управления силами и средствами пожарно-спасательных гарнизонов.

Данные структурные подразделения созданы по решению начальника Главного управления МЧС России по Республике Татарстан и функционируют на основании следующих нормативно-правовых актов и документов, регламентирующих их оперативную деятельность:

- Федеральный закон от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [1];
- Федеральный закон от 23.05.2016 г. № 141-ФЗ «О службе в федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [2];
- Постановление Правительства РФ от 20.06.2005 г. № 385 «О федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы» [3];
- Приказ МЧС России от 16.10.2017 г. № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» [4];
- Приказ МЧС России от 25.10.2017 г. № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах» [5];
- Приказ МЧС России от 30.12.2005 г. № 1027 «О дополнительных мероприятиях по формированию федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы» [6];
- Приказ Главного управления МЧС России по Республике Татарстан и МЧС Республики Татарстан от 08.07.2022 г. № 960/194 «О назначении должностных лиц территориального пожарно-спасательного гарнизона Республики Татарстан» [7];

– Приказ Главного управления МЧС России по Республике Татарстан и МЧС Республики Татарстан от 03.12.2020 г. № 1057/370 «Об утверждении обязанностей должностных лиц ТПСГ Республики Татарстан и основных задач нештатных служб ТПСГ РТ» [8];

– Положение о службах пожаротушения [9];

– иные нормативно-правовые акты, документы, приказы и распоряжения ГУ МЧС России по Республике Татарстан.

Службы пожаротушения обладают собственной структурой, в которую входят следующие компоненты:

– пять дежурных смен СПТ, различающихся направлениями деятельности;

– центральный пункт пожарной связи (ЦППС).

За дежурными сменами служб пожаротушения территориальных отрядов Главного управления МЧС России по Республике Татарстан закреплены следующие зоны ответственности:

– 1 дежурная смена — газодымозащитная служба, охрана труда, стажировка при СПТ и центральном пункте пожарной связи отрядов;

– 2 дежурная смена — противопожарное водоснабжение, организация опорных пунктов по тушению крупных пожаров и проведению АСР;

– 3 дежурная смена — рукавное хозяйство, планы и карточки тушения пожаров, времена оперативного реагирования пожарных подразделений на тушение пожаров;

– 4 дежурная смена — пожарная техника, пожарно-техническое вооружение и аварийно-спасательного оборудование;

– 5 дежурная смена (резерв) — повседневная работа с оперативной документацией, подмена сотрудников СПТ.

В территориальном пожарно-спасательном гарнизоне Республики Татарстан функционируют 9 служб пожаротушения, осуществляющих координационную деятельность МПСГ, из них 1 служба пожаротушения ФПС ГПС ГУ МЧС России по Республике Татарстан, 3 службы пожаротушения договорных отрядов, 4 службы пожаротушения территориальных отрядов, 1 служба пожаротушения специального управления 35 Федеральной противопожарной службы.

На сегодняшний день, в соответствии с положением о СПТ [9] выделяют следующую классификацию данных координационных органов управления:

– СПТ I-го разряда: в зону обслуживания входит 20 и более пожарно-спасательных подразделений;

– СПТ II-го разряда: в зону обслуживания входит от 10 до 20 пожарно-спасательных подразделений;

– СПТ III-го разряда: в зону обслуживания входит до 10 пожарно-спасательных подразделений.

Изучим характеристики зон ответственности и разрядность исследуемых служб пожаротушения местных пожарно-спасательных гарнизонов Республики Татарстан. Данные сведения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Общие сведения о зонах обслуживания и разрядности СПТ

Наименование структурного подразделения	Количество МПСГ	Разряд службы пожаротушения	Плотность населения, чел./км²	Площадь района выезда, км²
СПТ 7 ПСО	14	I	88,9	19254
СПТ 8 ПСО	8	III	31,3	10654
СПТ 11 ПСО	12	I	33,8	20092
СПТ 15 ПСО	10	I	56	17800
Сведения о входящих в зону ответственности СПТ МПСГ				
	СПТ 7 ПСО	СПТ 8 ПСО	СПТ 11 ПСО	СПТ 15 ПСО
Наименования муниципальных районов РТ	г. Казань	г. Зеленодольск	г. Альметьевск	г. Елабуга
		Зеленодольский МР	г. Нижнекамск	г. Набережные Челны
		Апастовский МР	Азнакаевский МР	Агрызский МР
		Буинский МР	Альметьевский МР	Актанышский МР
		Верхнеуслонский МР	Бавлинский МР	Елабужский МР
		Дрожжановский МР	Бугульминский МР	Мамадышский МР
		Кайбицкий МР	Заинский МР	Менделеевский МР
		КамскоУстьинский МР	Лениногорский МР	Мензелинский МР
		Тетюшский МР	Нижнекамский МР	Муслюмовский МР
			Новошешминский МР	Тукаевский МР
			Сармановский МР	
Черемшанский МР				
Ютазинский МР				
Сведения об оперативно-тактических возможностях служб пожаротушения территориальных отрядов				
Наименование анализируемого критерия	СПТ 7 ПСО	СПТ 8 ПСО	СПТ 11 ПСО	СПТ 15 ПСО
Радиус зоны ответственности, км	154	217	210	150
Время следования в самую отдаленную точку района выезда, мин.	231	180	180	132

Итак, по результатам анализа данных таблицы 1 можно сделать вывод о том, что в район вызова служб пожаротушения территориальных отрядов ГУ МЧС России по Республике Татарстан входит относительно большое количество местных пожарно-спасательных гарнизонов, что, в свою очередь, указывает на востребованность исследуемых координационных органов управления.

По результатам проведенных теоретических исследований выявлена проблема, связанная с обширной зоной обслуживания. Данный факт подтверждают сведения таблицы 1, отражающие площадь района выезда. Отмечается, что максимальная площадь зоны обслуживания принадлежит службе пожаротушения 11 пожарно-спасательного отряда ГУ МЧС России по Республике Татарстан и составляет соответственно: 20092 км<sup>2</sup>.

#### Литература:

1. Федеральный закон от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».
2. Федеральный закон от 23.05.2016 г. № 141-ФЗ «О службе в федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
3. Постановление Правительства РФ от 20.06.2005 г. № 385 «О федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы».
4. Приказ МЧС России от 16.10.2017 г. № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ».
5. Приказ МЧС России от 25.10.2017 г. № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах».
6. Приказ МЧС России от 30.12.2005 г. № 1027 «О дополнительных мероприятиях по формированию федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы».
7. Приказ Главного управления МЧС России по Республике Татарстан и МЧС Республики Татарстан от 08.07.2022 г. № 960/194 «О назначении должностных лиц территориального пожарно-спасательного гарнизона Республики Татарстан».
8. Приказ Главного управления МЧС России по Республике Татарстан и МЧС Республики Татарстан от 03.12.2020 г. № 1057/370 «Об утверждении обязанностей должностных лиц ТПСГ Республики Татарстан и основных задач нештатных служб ТПСГ РТ».
9. Чижиков Э. Н. Методические рекомендации по организации деятельности службы пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ территориального гарнизона пожарной охраны. — № 2–4–87–23–18. 2014.

Стоит отметить, что наибольший показатель, характеризующий время следования сил и средств СПТ в самую отдаленную точку зоны обслуживания зарегистрирован у службы пожаротушения 7 ПСО и составляет 231 минуту. Настолько длительное реагирование на возможный крупный пожар может привести к ухудшению обстановки на месте вызова, дальнейшему распространению горения, увеличению численности погибших и пострадавших вследствие отсутствия грамотного управления силами и средствами пожарной охраны, осуществляющими пожаротушение.

Таким образом, в рамках статьи изучены аспекты организации повседневной деятельности служб пожаротушения местных пожарно-спасательных гарнизонов Республики Татарстан.

## Развитие сметного дела в рамках BIM-технологии в сфере строительства Российской Федерации

Герасимова Алина Радиковна, студент магистратуры  
Казанский (Приволжский) федеральный университет

**Ключевые слова:** BIM, информационное моделирование, Российская Федерация, строительство, компания, сметы.

В течение развития сферы строительства во всем мире, не только в России, сметное дело являлось самым главным и самым первым шагом в начале постройки того или иного объекта инфраструктуры. Расчет стоимости объекта зачастую был тяжелым процессом, который происходил вручную сметчиками и сопровождался многочисленными неточностями и ошибками.

Строительное сообщество для минимизации ошибок и неточностей хотела автоматизировать данный процесс, облег-

чить его путем компьютерных автоматических вычислений. В этой связи сферу строительства как «палочка выручалочка» пришла технология информационного моделирования или как на английском Building Information Model (BIM). Использовать данную технологию в этой сфере ранее было невозможно и только с развитием вычислительных машин в настоящее время такая технология стала доступной для многих развитых строительных компаний. Данная технология допускает использование стандартных методов измерения для автоматизации

процесса сметного дела. Благодаря данной технологии именно вычислительные ошибки устраняются сметчиками автоматически и без всяких сложностей.

Несмотря на внедрение информационного моделирования в середине 10-х годов XXI века в странах Европы, Америки, а также повсеместного внедрения в странах Азии, строительная сфера в России не так широко использует информационное моделирование, как технологию в строительстве. Лишь в середине 10-х годов XXI века в России при влиянии иностранных строительных рынков, открытии филиалов строительных иностранных компаний в Российской Федерации, рынок строительства начал внедрять технологию информационного моделирования. Кроме того, при поддержке государства в лице Министерства строительства Российской Федерации о данной технологии узнали строительные компании по всей России. Российской Федерацией был перенят опыт наших западных коллег в области информационного моделирования зданий, в связи с чем начали использоваться стандарты, идентичные международным в области информационного моделирования. Отсутствие правовой базы, посвященной регламентации отношений, связанных с применением BIM в строительстве, также долгое время тормозило применение такой технологии в России и лишь с 2014 г. постепенно начала формироваться правовая база. В результате чего к 2022 г. Правительство Российской Федерации приняла Стратегию развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства до 2030 г. в которой информационное моделирование (BIM) занимает одну из главенствующих мест в развитии всего строительства.

Несмотря на это продвижение, национальной политики в области информационного моделирования (BIM) способствовали многие крупные частные компании, которые внедряли международный опыт западных коллег по строительству с использованием BIM гораздо раньше. Частным строительным компаниям в Российской Федерации это было жизненно необходимо для повышения своей конкуренции как на российском рынке строительства, так и открытию для себя международного рынка в других странах как Китай, Сингапур, Турция. Иностранные строительные проекты, а точнее их Заказчики для их реализации требуют информационного моделирования как необходимую технологию, для того чтобы создать необходимый объект (здание или сооружение). Многие иностранные заказчики требовали внесения BIM в договоры при проведении тендера на строительные проекты. BIM стало обязательным аспектом для участия компании в том или ином строительном проекте [1].

Но дабы понять, чем же так привлекательно информационное моделирование (BIM) в строительстве для компаний, и почему так активно данную технологию используют в строительстве многие государства, выявим цели данной технологии. Зачастую целями информационного моделирования (BIM), в том числе применительно в сметном деле, ученые называют: разработка 5D-модели, которая включает в себя данные об объектах и их изображение. Фактически объект с листа переносится в графику. Несмотря на вышеуказанное это не главная цель. Главной целью ученые и строители выделяют создание информационной графической базы, которая может использо-

ваться всеми специалистами, задействованными в строительстве объекта. Сметчики называют её общей информацией об объекте строительства на визуальной основе. В данной информационной базе сметчики фактически видят разбивку каждого элемента здания или иного сооружения на составляющие, на отдельные части, которые образуют объект строительства. Объект строительства создается в образе 5D-модели на компьютере благодаря чему Заказчик может видеть не только конечный результат, но и составные части, а также составляющие данных частей.

Ранее строители лишь могли мечтать о таких технологиях, а сейчас крупнейшие строительные компании, в том числе из России, широко используют данную технологию в своей работе. Крупные российские строительные компании начали создавать отдельные BIM-подразделения у себя, привлекают зарубежных специалистов, имеющих такой опыт.

Как уже говорилось ранее, в Россию информационное моделирование (BIM) пришло чуть позже, чем в остальные страны, большие строительные компании начали активно участвовать в исследованиях данной технологии и внедрять ее в свою работу [2]. Одним из первых сфер, где строительные компании начали применять технологию BIM, было дорожное строительство.

Так российская дорожная компания «АвтоДор» и одна из старейших строительных компаний специализирующаяся на строительстве и реконструкции автодорожных мостов «Мостотрест» начали применять в строительстве технологию BIM [3]. «АвтоДор» так вообще разработал внутренние правила по применению Building Information Modeling. В связи с развитием BIM технологии в строительстве широко возрос спрос на BIM-специалистов на территории всей России. Технология BIM не только обеспечивает продвижение и модернизацию существующих технологий и обеспечивает скачкообразное развитие строительной отрасли всецело, но и косвенно влияет на способ организации производства и метод управления, а в долгосрочной перспективе повлияет на образ мышления специалистов и иных людей, задействованных в данной сфере [4].

Ранее мы уже обращали внимание, что информационная модель фактически содержит многочисленные составляющие, образующие всецело объект строительства, в связи с чем каждая стадия всего строительства объекта отражается в BIM начиная от планирования и проектирования, заканчивая эксплуатацией и техническим обслуживанием [5]. При этом отдельный пласт работ по созданию информационной модели занимает внесение всех данных и информации сметчиками и проектировщиками.

Основная работа на этапе принятия решений заключается в сопоставлении планов и проведении технико-экономического обоснования проекта. Благодаря использованию технологии BIM для сравнения стоимости нескольких планов и других аспектов [6], можно выбрать наиболее экономичный и разумный план строительства. Благодаря внедрению технологии BIM Заказчики быстро и точно могут сделать выбор по материалам, по дизайну, а также визуально и информативно понять, что в совокупности получится и сколько будет затрачено ресурсов, материалов, человека часов на тот или иной объект. Если все виды

информации BIM интегрированы на облачной платформе, то применение управления затратами на этапе принятия решений представляет собой оценку инвестиций с помощью инженерных примеров в базе данных облачной платформы BIM [7].

Для окончательного понимания данной технологии ученые в своей литературе дали понятие [8] четкое понятие 5D BIM технологии — по их мнению, это технология BIM, которая основана на трех пространственных измерениях BIM путем добавления еще двух измерений, а именно графика и стоимости. Вообще интеграция двух измерений — графика и стоимости — позволяет использовать BIM в управлении всем жизненным циклом строительных проектов, что может эффективно повысить уровень управления строительными проектами. В литературе [9], в процессе исследования отмечается, что технология 5D-BIM фактически основана на BIM, которая является разновидностью технологии управления строительством информационного моделирования зданий. При поддержке BIM ход работ, ресурсы, бюджет, строительство, организация и другая ключевая информация включаются в систему управления, и процесс строительства проекта моделируется таким образом, чтобы руководитель проекта и управленческий персонал могли своевременно понять информацию о проекте и повысить эффективность принятия решений по проекту.

В литературе [10], в процессе исследования отмечалось, что информация является ядром технологии 5D-BIM, а основными элементами (компонентами или объектами) BIM как носителя являются геометрическая информация, информация о стоимости, а также связанные с ней требования и физические характеристики строительства проекта.

Ученые считают, что наиболее подходящим языком представления считается OWL, благодаря визуальному представлению [11].

Но все же остановимся на применении технологии BIM в сметном деле. Все чаще от строительных компаний можно услышать термин BIM сметчик. Так такого термина в настоящее время нет, но исходя из его анализа мы можем сделать вывод, что BIM сметчиком является специалист, владеющим BIM проектированием, а также сметным делом. Как уже ранее говорилось, при информационном моделировании (BIM) зарубежные компании начали составлять в информационной модели сметы. Соответственно спроектированная BIM модель может быть дополнена внутри и сметой. Сметчик накладывает на информационную модель стоимость того или иного предмета. В последнее время широкое применение в BIM имеют такие сметные программы как программа BIM-смета, 5D Смета, BIM Wizard. Все эти программы уже широко используются в больших россий-

ских строительных компаниях. Несмотря на вышеуказанное, существует глобальная проблема внедрения в BIM смет. Так проект, который потянет BIM технологию должен быть эффективный и хорошо финансируемый, качественно проработанный и спроектированный, что зачастую в средних строительных компаниях попросту невозможно. Кроме того, нельзя забывать, что зачастую сметно-нормативные базы, содержащие сметные нормативы для расчета сметной стоимости, не обновляются, либо не развиваются так быстро, как сами строительные материалы и строительные машины. Очень тяжело подобрать сметную норму для использования монтажа современной конструкции, тем более иностранного происхождения.

Несмотря на вышеуказанное, огромный толчок к повсеместному внедрению во всех сферах строительства дал сам законодатель. Постановлением Правительства РФ от 5 марта 2021 г. N331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства» законодатель обязал всех субъектов строительства при заключении договора о подготовке проектной документации для строительства с привлечением бюджетных средств составлять и использовать в своей деятельности BIM модель объекта, в котором также должны быть сводные сметные расчеты стоимости объекта. Данный шаг в области внедрения BIM в строительство фактически можно назвать как «первым шагом на луне». Законодатель тем самым подтолкнул все компании при заключении договора о подготовке проектной документации для строительства, финансируемого с привлечением бюджетных средств использовать BIM технологию. В первую очередь цели, которые преследовал законодатель при издании и утверждении вышеуказанного Постановления Правительства это развитие данной технологии в строительстве в Российской Федерации, практическое применения компаниями в России, а также удобство для Заказчика в лице государства для просмотра каждой стадии, прозрачность и контроль расценок всего объекта.

В заключении хочется сказать, что в Российской Федерации развитие BIM технологий в строительстве набирает большие обороты, при этом импульсом для развития выступают не только частные компании, которые конкурируя между собой за большие иностранные заказы, пытаются освоить все новые и новые технологии в строительстве, но и само государство, вводя новые нормы, которые становятся необходимы для работы на развивающемся рынке строительства в Российской Федерации.

#### Литература:

1. Д. Чакраборти и Х. Эльзарка, «Передовые методы машинного обучения для моделирования эффективности зданий: сравнительный анализ», *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 12, No 2, pp. 193–207, 2019.
2. Т. Додд, К. Ян и И. Иванов, «Simulation-based methods for model building and refinement in cryoelectron microscopy», *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 60, no. 5, pp. 2470–2483, 2020
3. Попов В. А., Скворцов А. В., Бойков В. Н. Методические рекомендации по созданию и использованию технологий информационного моделирования на всех стадиях жизненного цикла автомобильных дорог.: [Текст] / Попов В. А., Скворцов А. В., Бойков В. Н. — 2015. — 230 с.

4. N.Endo, E. Shimoda, K. Goshome, T. Yamane, T. Nozu, and T. Маеда, «Моделирование проектирования и эксплуатации системы использования водородной энергии для здания с нулевым уровнем выбросов», Международный журнал водородной энергетики, вып. 1. 44, no. 14
5. У.Перепа, У. Кулатунга, Ф. Н. Абдин, С. Сепасгозар, и М. Tennakoon, «Применение информационной модели здания для управления пожарной опасностью в высотных зданиях: исследование в Шри-Ланке», Intelligent Buildings International, vol. 14, no. 2, pp. 1-15, 2021
6. О. Герра-Сантин и С. Сильвестр, «Разработка голландских профилей occupancy и отопления для моделирования зданий», Building Research Information, vol. 45, no. 4, pp. 396–413, 2017
7. K. Hanson, L. Hernandez, and J. A. Banaski, «Building simulation exercise capacity in Latin America to manage public health emergency», Health Security, vol. 16, no. S1, pp. 598-S102, 2018
8. P. Remmen, M. Lauster, M. Mans, M. Fuchs, T. Osterhage, and D. Müller, «TEASER: an open tool for urban energy modeling of building stocks», Journal of Building Performance Simulation, vol. 11, no. 1, pp. 84–98, 2018
9. E. K. Wati и N. Widiyansyah, «Design of learning media: modeling & simulation of building thermal comfort optimization system in building physics course», /ornaf Pendidikan IPA IndoneS ta, vol. 9, no. 2, pp. 257–266, 2020
10. C. Xiong, J. Huang, and X. Lu, «Framework for city-scale building seismic resilience simulation and repair scheduling with labor constraints driven by time-history analysis», Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, vol. 35, no. 4, pp. 322–341, 2020
11. H. Grzybek, S. Xu, S. Gulliver, V. Fillingham, Considering the Feasibility of Semantic Model Design in the Built-Environment, Buildings. 4 (2014) 849–879. doi:10.3390/buildings4040849.

## Использование квантовых компьютеров при атаке на RSA

Джуракулов Темур Хайруллаевич, студент;

Евстропов Вячеслав Андреевич, студент;

Петросян Арутюн Артурович, студент;

Михалевич Игорь Феодосьевич, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник

Российский университет транспорта (МИИТ) (г. Москва)

*В статье рассмотрены вопросы стойкости криптографического метода RSA в «доквантовую» и «постквантовую» эпохи, приведены примеры использования квантовых компьютеров для ускорения процесса взлома RSA.*

**Ключевые слова:** RSA, алгоритм, атака, защита информации, квантовый компьютер.

В 1977 Ron Rivest, Adi Shamir и Leonard Adleman разработали криптографический метод, названный по первым буквам их фамилий — RSA. В современном мире этот метод является основополагающим во многих системах, например, при защите подключений к сайтам. Так, «Портал государственных услуг» использует криптографический протокол со спецификацией «TLS\_ECDHE\_RSA\_WITH\_AES\_128\_GCM\_SHA256» [1], где метод RSA используется для шифрованной передачи ключей.

RSA-алгоритм работает следующим образом. У каждого человека есть по два больших, простых числа, которые они никому не раскрывают. Эти числа перемножаются, что дает еще большее число, открытое всем желающим. Отправляя личное сообщение другому человеку, мы шифруем его с помощью большого числа адресата так, чтоб расшифровать его можно было, только зная те два больших множителя, из которых это число получилось. Это алгоритм с ассиметричным ключом — зашифровалось сообщение с помощью одного ключа, а расшифровалось с помощью другого. Для адресата расшифровка не составит особого труда, а вот постороннему человеку придется подбирать числа, из которых получился открытый ключ.

При наличии суперкомпьютера, используя метод решета числового поля, можно подобрать эти числа. Современная

криптография использует числа длиной около 232 десятичных знаков. Осуществить подбор чисел, зная лишь их произведение, у суперкомпьютера уйдут сотни триллионов лет, а квантовые компьютеры могут значительно ускорить этот процесс [2].

Почему же квантовый компьютер подбирает простые множители для больших чисел быстрее обычного? Для начала рассмотрим базовые принципы без применения квантовых компьютеров. Возьмем некое число  $N$ , которое является произведением двух простых чисел  $p$  и  $q$ . Возьмем число  $g$  без общих множителей с числом  $N$ . Если возвести  $g$  в некоторую степень  $r$ , то получим [3]:

$$g^r = mN + 1, \quad (1)$$

где  $m$  — коэффициент кратности.

Для примера пусть  $N$  равно 77, возьмем число меньше 77, например,  $g$  равно 8. Перебирая степени  $g$ , получаем, что  $8^{10}$  при делении на 77 дает 1. Применим преобразования к уравнению (1):

$$(g^{r/2} + 1)(g^{r/2} - 1) = mN + 1 \quad (2)$$

Известно, что  $p$  и  $q$  находятся в правой части уравнения. Они же должны лежать и в левой, но умноженные на какой-то коэффициент. Таким образом, мы взяли какое-то случайное значение  $g$  и, найдя степень  $r$ , получили два числа, у которых с большой вероятностью найдутся общие множители с  $N$ :

$$\begin{aligned}(g^{r/2} + 1) &= (g^{10/2} + 1) = 32769 \\ (g^{r/2-1}) &= (g^{10/2-1}) = 32767\end{aligned}\quad (3)$$

Чтобы найти общий делитель одного из этих двух чисел и  $N$ , применим алгоритм Евклида [4].

Последовательно производя деление с помощью данного алгоритма, находим что число 11 — делитель как для 32769, так и 77. То же самое можно сделать с числом 32767 или просто разделить 77 на 11 и получить число 7. Таким образом, мы нашли  $p$  и  $q$ .

Обобщим, как нам искать простые сомножители  $p$  и  $q$ .

1. Взять случайное значение  $g$ .
2. Выяснить, в какую степень  $r$  необходимо возвести  $g$ , чтобы получить  $mN + 1$ .
3. Найти два числа с помощью полученной степени, у которых могут быть общие множители с  $N$ .
4. Вычислить общие множители этих чисел и  $N$  с помощью алгоритма Евклида. Таким образом, можно найти  $p$  и  $q$ .

Чтобы произвести все эти действия квантовый компьютер не нужен. Однако квантовые компьютеры ускоряет второй этап этого процесса — поиск степени, в которой нужно возвести  $g$ ,

чтобы получить произведение  $mN + 1$ . Рассмотрим, как квантовые вычисления помогают в этом.

Бит у обычного компьютера может быть всего лишь в двух состояниях — либо 0, либо 1. Если у нас 2 бита, то мы имеем 4 состояния — «00», «01», «10» и «11». Если мы захотим возвести 7 в степень равную какому-то из этих чисел, то придется делать по одному за раз.

Кубиты в квантовых компьютерах тоже имеют 2 состояния «0» или «1». Но в отличие от обычных битов кубитам необязательно принимать только одно из этих значений. Их состояние — это суперпозиция нуля и единицы. Получается, если у нас 2 кубита, то они могут находиться одновременно в суперпозициях «00», «01», «10» и «11». Если мы проведем возведение числа в какую-нибудь степень, используя квантовый компьютер, то сразу получим суперпозицию всех результатов. Увеличив число кубитов всего до 10, будет возможным одновременно представить больше 16000 состояний. А значит, получим одновременно больше 16000 результатов, что представлено на рисунке 1.

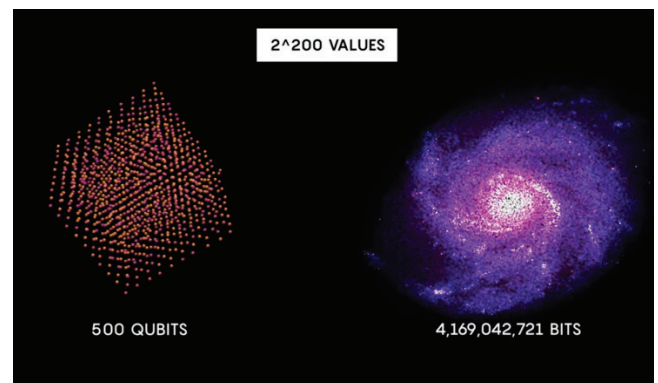
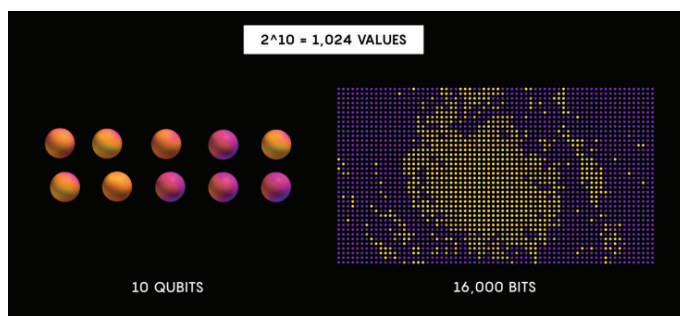


Рис. 1. Производительность квантовых компьютеров (Источник: [5])

Вернемся к  $g^r$ . Если мы продолжим возведение  $g = 8$  в степень больше 10, то заметим, что каждый остаток будет повторяться через 10 степеней, то есть:

$$\begin{aligned}8^{10^a} \bmod 77 &= 1 \\ 8^{10^a+1} \bmod 77 &= 8 \\ &\dots\dots\dots \\ 8^{10^a+9} \bmod 77 &= 29,\end{aligned}\quad (4)$$

где  $a$  — натуральное число. Таким образом, ясно, что остатки цикличны.

Зная это, можно взять квантовый компьютер и найти множители произведения двух простых чисел. Сначала разделим кубиты на 2 набора. Первым будет набор из суперпозиций 0, 1, 2, 3, 4 ...  $2^{2050}$ . Для такой суперпозиции понадобится 2050 кубит [6]. Второй набор имеет такой же размер и состоит из нулей. Теперь возводим  $g$  во все степени состояний из первого набора, делим на  $N$  и записываем остатки во второй набор. Таким образом, мы запутали 2 набора кубитов.

Однако, нельзя просто взять и измерить эту суперпозицию. Так мы получим всего лишь одно случайное значение из возможных, а вся остальная информация теряется. Можно изме-

рить не всю суперпозицию, а только набор с остатками, так мы узнаем значение одного из них, и этот остаток будет встречаться снова и снова, по одному разу в каждом цикле. Так мы получим суперпозицию состояний с одинаковым остатком, а связанные с ними степени будут находиться друг от друга на расстоянии  $r$ . Это и есть необходимое нам число. Мы получили периодическую суперпозицию, в которой все элементы разделены расстоянием  $r$ . Чтобы извлечь из этой суперпозиции нужное нам число  $r$  — частоту (период), с которой в суперпозиции повторяются значения, необходимо применить преобразование Фурье [7], адаптированное под квантовые вычисления в 1994 году Питером Шором и Доном Копперсмитом. Применяя данный алгоритм, мы получаем состояния, равные  $1/r$ , откуда несложно получить  $r$ .

Как видно, математические основы для взлома RSA системы уже готовы. Единственная преграда — отсутствие такого количества кубитов в современных квантовых компьютерах. По оценкам экспертов, в ближайшие 25–30 лет криптосистема будет взламываться за сутки [8].

Эта проблема широко известна, поэтому сейчас активно разрабатываются алгоритмы, способные противостоять кван-

товым компьютерам. С 2016 года Национальный Институт Стандартов и Технологий США (NIST) проводил конкурсы на создание первых криптографических методов, устойчивых

к атакам квантовых компьютеров. В 2022 года были анонсированы четыре постквантовых криптографических алгоритма [9].

#### Литература:

1. SSL Report // SSL Labs. URL: <https://www.ssllabs.com/ssltest/analyze.html?d=www.gosuslugi.ru> (дата обращения 29.04.2023).
2. Breaking RSA Encryption — an Update on the State-of-the-Art // QuintessenceLabs URL: <https://www.quintessencelabs.com/blog/breaking-rsa-encryption-update-state-art> (дата обращения 29.04.2023).
3. P. W. Shor. Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring // Annual Symposium on Foundations of Computer Science.— 1994.— № 35.— С. 124–134.
4. Алгоритм Евклида // Науколандия URL: <https://scienceland.info/algebra8/euclid-algorithm> (дата обращения 29.04.2023).
5. Quantum Computers, Explained With Quantum Physics/ <https://youtu.be/jHoEjvuPoB8> (дата обращения: 07.05.2023).
6. What is post-quantum cryptography // Quantum Strategy Institute URL: <https://quantumstrategyinstitute.com/2023/02/15/what-is-post-quantum-cryptography/> (дата обращения 03.05.2023).
7. Quantum Fourier Transform // Qiskit URL: <https://learn.qiskit.org/course/ch-algorithms/quantum-fourier-transform> (дата обращения: 07.05.2023).
8. 2021 Quantum Threat Timeline Report: Global Risk Institute // Global Risk Institute URL: <https://globalriskinstitute.org/publication/2021-quantum-threat-timeline-report-global-risk-institute-global-risk-institute/> (дата обращения 11.05.2023).
9. NIST Announces First Four Quantum-Resistant Cryptographic Algorithms // NIST URL: <https://www.nist.gov/news-events/news/2022/07/nist-announces-first-four-quantum-resistant-cryptographic-algorithms> (дата обращения 30.04.2023).

## Статистика неисправностей в цехе осушки природного газа

Ефремова Алина Геннадьевна, студент магистратуры

Научный руководитель: Томус Ирина Юрьевна, кандидат медицинских наук, доцент

Тюменский индустриальный университет

*В статье приведена статистика неисправностей оборудования в цехе осушки природного газа, произведен расчет коэффициента динамики неисправностей.*

**Ключевые слова:** цех осушки газа, статистика неисправностей оборудования, коэффициент динамики.

Товарное качество очистки природного газа зависит от качества обслуживания эксплуатируемого оборудования, а также количества неисправностей. Для принятия каких-либо новых технологических решений — необходимо проводить анализ статистических данных о количестве неисправностей.

Установка очистки газа состоит из двух ступеней:

— I ступень сепарации предназначена для отделения от газа основного количества конденсата, пластовой и конденсационной воды (грубая очистка) в сепараторах.

— II ступень — тонкая очистка газа от капельной влаги и механических примесей в фильтрах-сепараторах.

Для разделения воды и газового конденсата, поступающих с I и II ступеней очистки, предусматриваются две разделительные емкости. Из разделительной емкости вода и конденсат направляются на очистные сооружения. Для периодической продувки фильтров-сепараторов от механических примесей предусмотрена дренажная емкость [1].

Анализ журналов [2,3] о неисправностях оборудования в ЦОГ на исследуемом объекте, привел к результатам отображенных на диаграммах рисунков 1 и 2.

Динамика количества случаев неисправностей оборудования — приведена на рисунке 3.

Анализ динамики количества случаев неисправностей оборудования в ЦОГ 2021 и 2022 год, показал, что в 2021 году было 139 неисправностей, в 2022 году уже 193 случая — ситуация с обслуживанием оборудования ухудшилась, что приводит к следующим осложнениям:

- наличие высокой температуры газа на входе технологической нитки;
- низкий уровень нДЭГа на полуглухой тарелке абсорбера;
- прекращение подачи рДЭГа в абсорбер;
- рост уровень ДЭГа в емкости;
- ухудшение качества осушенного газа;
- повышение давления в емкости;
- пропуск газа, жидкости во фланцевых соединениях.

Произведём расчет коэффициента роста динамики по формуле:

$$K_p = \frac{D_{n,n}}{D_{n,n}}, \quad (1.1)$$

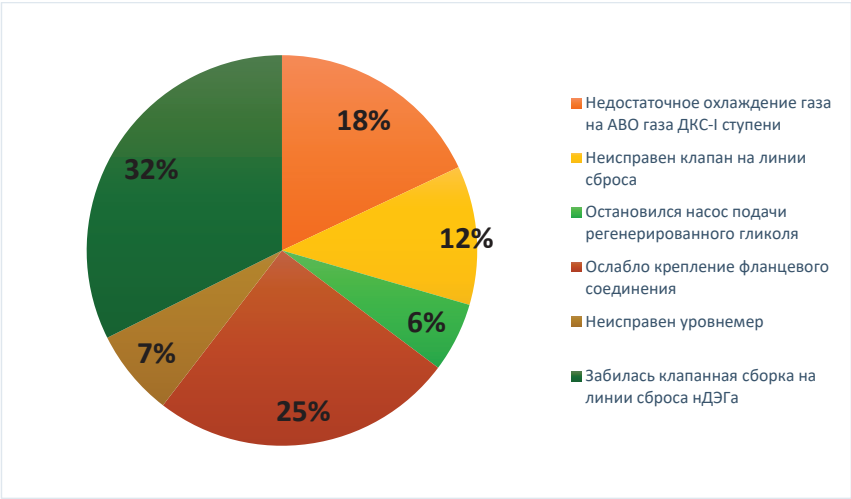


Рис. 1. Статистика неисправностей оборудования ЦОГ в 2021 году

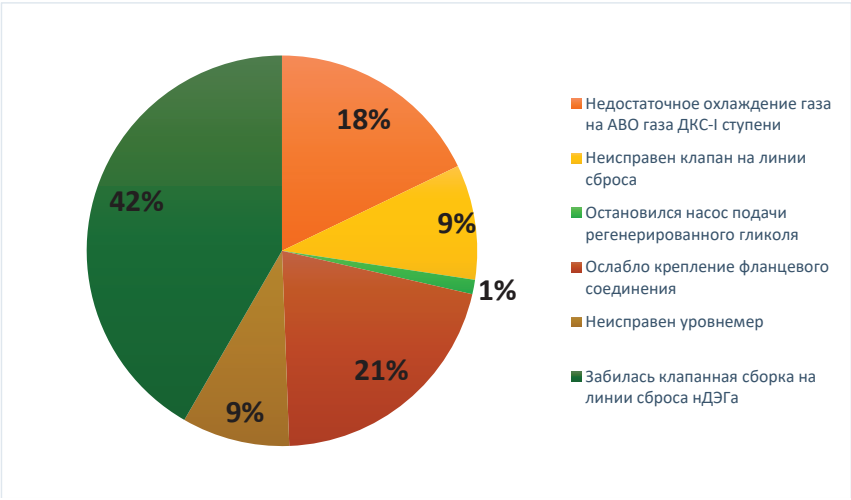


Рис. 2. Статистика неисправностей оборудования ЦОГ в 2022 году

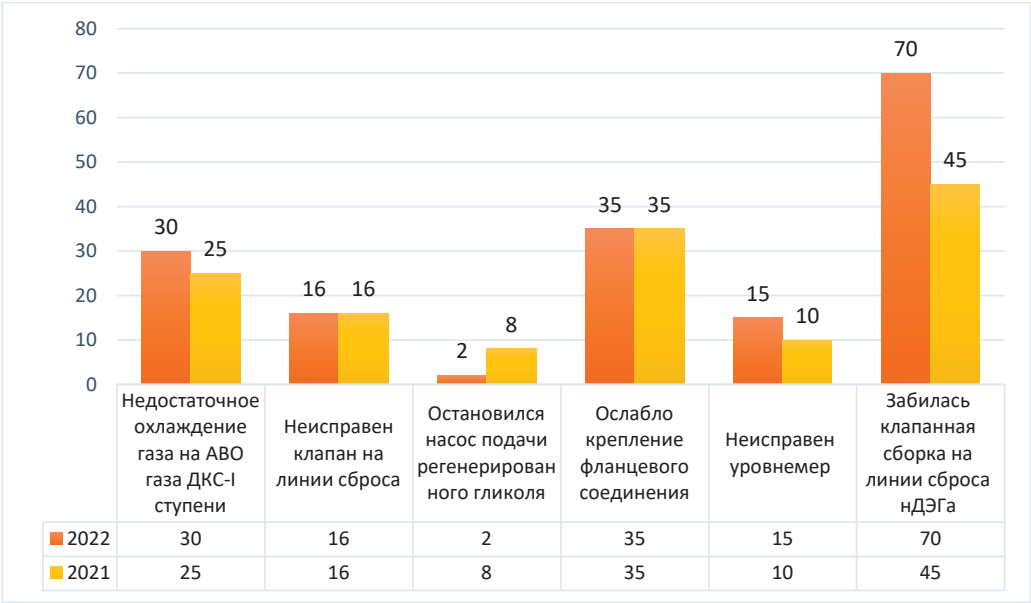


Рис. 3. Динамика количества случаев неисправностей оборудования в ЦОГ 2021 и 2022 год

Таблица 1. Методика оценки

Значение коэффициента роста динамики, %	Меры
менее 0%	Динамика положительная, мероприятия не требуются
от 0,01 до 100%	Динамика отрицательная, проводится усиление контроля, применение мероприятий по улучшению динамики
более 100%	Динамика отрицательная, проводится разработка новых мероприятий, поиск управленческих решений

где Дп.п.— данные количества неисправностей оборудования за прошлый период, случай;

Дн.п.— данные количества неисправностей оборудования за настоящий период, случай.

Далее полученные значения сравниваются с данными таблицы 1.

$$K_p = \frac{139}{193} = 0,720 \%$$

Согласно таблице 1, динамика отрицательная, необходимо усиление контроля, применение мероприятий по улучшению ситуации с ростом количества неисправностей оборудования в ЦОГ.

#### Литература:

1. Технологический регламент УКПГ: б/н / Российская Федерация. Техническая документация ООО «...».— Новый Уренгой: ООО «...», 2019.— 273 с.
2. Журнал регистрации неисправностей оборудования в ЦОГ за 2022 год УКПГ ООО «...».— Новый Уренгой, ООО «...», 2021–86 с.; 29 см.
3. Журнал регистрации неисправностей оборудования в ЦОГ за 2022 год УКПГ ООО «...».— Новый Уренгой, ООО «...», 2022–100 с.; 29 см.

## Динамика мирового объема перевозок скоропортящихся грузов в рефконтейнерах за последние 20 лет

Казаков Егор Владимирович, студент  
Российский университет транспорта (МИИТ) (г. Москва)

*В статье рассмотрены современные условия функционирования и сфера использования рефрижераторных судов и контейнеров в качестве средства перевозки скоропортящихся грузов.*

**Ключевые слова:** скоропортящиеся грузы, рефрижераторные суда, контейнер.

Из более чем 200 млн т/год международных перевозок скоропортящихся продуктов в мире более 120 млн т перевозятся морем, остальные — наземным и воздушным транспортом. В свою очередь, морские перевозки делятся между специализированными рефсудами и рефконтейнерами. За последние 20 лет доля рефсудов в объеме перевозок СПГ неуклонно сокращается, а доля рефконтейнеров растет и в 2020 году составляет уже 85%. Несмотря на это рефрижераторные суда имеют значимую долю в перевозках СПГ. Все это связано с преимуществами обоих друг относительно друга:

1) Будучи интермодальным транспортным модулем, рефконтейнер обеспечивает лучшую сохранность качества СПГ, бесперегрузочную схему доставки, краткосрочное хранение без использования каких-либо крытых складских площадей.

2) В то же время суда с меньшим дедвейтом в отличие от мегаконтейнеровозов обеспечивают наименьший простой

в портах погрузки и выгрузки, что ведет к уменьшению сроков оборота транспортного средства и увеличению количества его международных и внутренних рейсов [1].

Контейнеризация грузопотоков предоставляет возможность малому и среднему бизнесу доставлять выращиваемые в Центральной и Южной Америке и странах Юго-Восточной Азии обширный диапазон тропических фруктов на огромные расстояния, образуя глобальную холодильную цепь. К тому же перевозки СПГ постепенно захватывают азиатский рынок, где довольно много развивающихся стран (Вьетнам, Индонезия, Китай, Филиппины), в которых с ростом доходов населения появляется дополнительная потребность в мясомолочных продуктах, не производимых в государстве и ввозимых по импорту из США и Европы. Становится очевидным, что продовольственные грузы все больше и больше доставляются контейнерами.

Важной проблемой массовой эксплуатации рефконтейнеров является их слабая окупаемость при больших капиталовложениях со стороны морских перевозчиков. Например, рефрижератор дороже универсального контейнера того же типоразмера в 5–6 раз, и сейчас цена 40-футового рефрижераторного контейнера колеблется от 20 до 30 тыс. долларов [1]. Рефконтейнеры требуют более высоких затрат на обслуживание и ремонт, на электроэнергию для питания рефагрегатов, а также претензионную работу, поэтому происходит укрупнение операторских компаний, специализирующихся на перевозках рефгрузов. На судне-контейнеровозе доля рефконтейнеров колеблется от 5 до 20% от общего дедвейта судна. На контейнерных терминалах во всех портах мира оборудовано около 400 тыс. розеток для подключения рефконтейнеров к электропитанию.

Контейнеры вопреки недостаткам завоевывают мировой рынок за счет своей доступности клиентам и надежности. Становится очевидным, что РК должны вытеснить рефсуда с рынка перевозок СПГ. Но некоторые позиции номенклатуры нужда-

ются в существовании холодильного флота. Цепочка поставок контейнеров подразумевает дополнительные простои в ходе ожидания их проверки, обслуживания, очистки, а также их постепенной выгрузки в каждом порту маршрута. Операторы рефрижераторных же судов предлагают модель «port-to-port», согласно которой существует только 1 пункт назначения, в котором выгрузка идет сразу на причале, а не в глубине порта. К тому же накопление груза не занимает много времени для полной загрузки трюма судна из-за его небольшой вместимости. Более того, эта емкость со временем уменьшается, пока дедвейт мегаконтейнеровозов с техническим прогрессом растет (рис. 1).

На данный момент флот судов необходим и для того, чтобы покрывать спрос на перевозки отдельных видов грузов. Например, оптовая торговля бананами по-прежнему сильна. Всей рефрижераторной мощности контейнерного флота недостаточно для покрытия мирового спроса на бананы, а также на другие категории фруктов, поступающих из южного полушария, особенно в периоды пиков производства. Рисунок 2

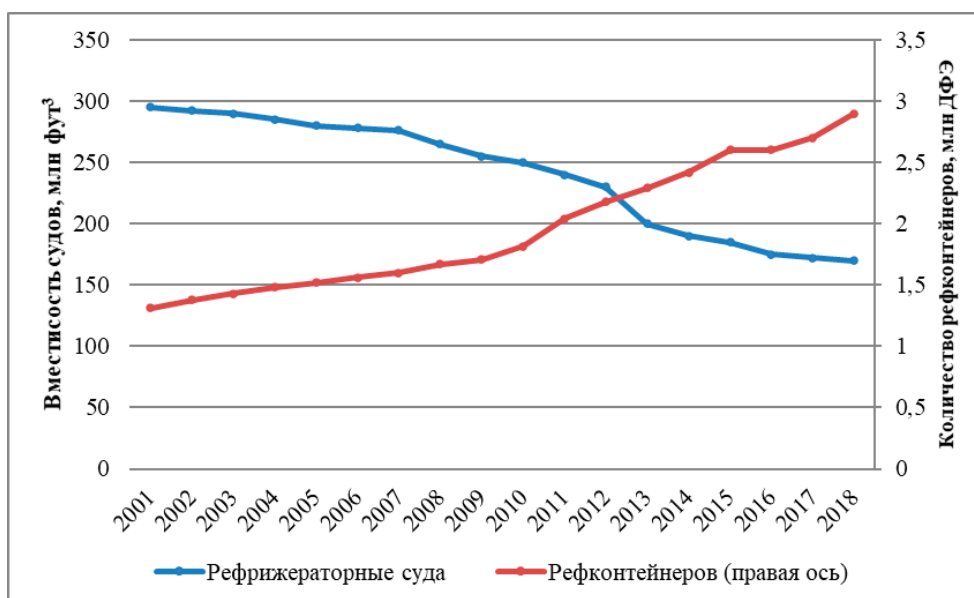


Рис. 1. Динамика вместимости мирового парка рефрижераторных судов и рефконтейнеров, 2001–2018 гг.

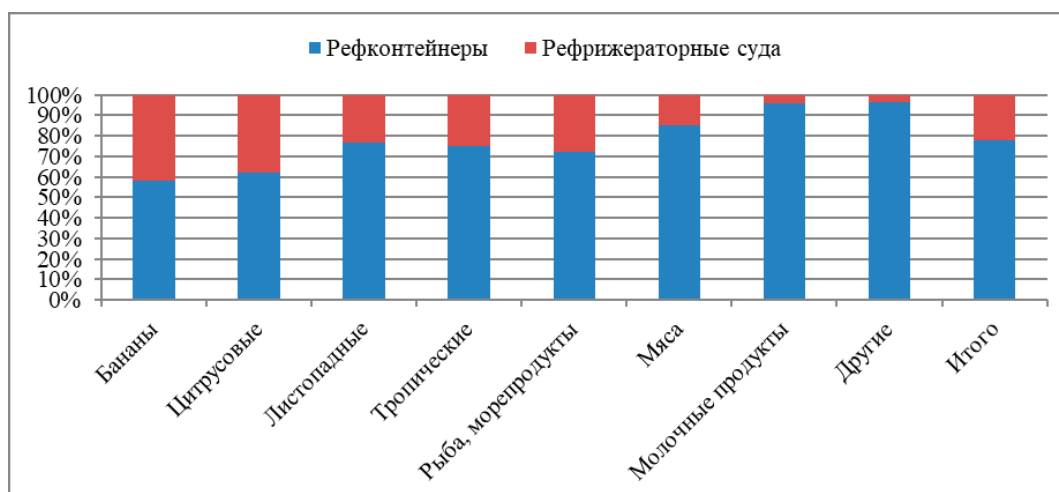


Рис. 2. Доля основных морских рефрижераторных грузов между рефсудами и рефконтейнерами [2]

отражает долю судов и рефконтейнеров в общем объеме перевозок СПГ морским транспортом и по отдельным видам. Наи-

более значима доля судов в перевозках бананов (42%), цитрусовых (38%), рыбы (28%).

#### Литература:

1. Reefer ships versus containers [Электронный ресурс] // Информационное агентство FreshPlaza [сайт] URL: <https://www.fresh-plaza.com/europe/article/109657/Reefer-shipsversus-containers/> (дата обращения: 02.05.23)
2. Доля рефперевозок на рынке морских перевозок составила 4,3% за 2016 г. [Электронный ресурс] // Информационное агентство Korabel.ru [сайт] URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/dolya\\_refperevozok\\_na\\_rynke\\_morskih\\_perevozok\\_sostavila\\_4\\_3\\_za\\_2016\\_god.html](https://www.korabel.ru/news/comments/dolya_refperevozok_na_rynke_morskih_perevozok_sostavila_4_3_za_2016_god.html) (дата обращения: 02.05.23)

## Возможные источники чрезвычайных ситуаций на прирельсовом складе светлых нефтепродуктов

Казанцев Константин Евгеньевич, студент магистратуры  
Тюменский индустриальный университет

*В статье рассмотрены возможные источники чрезвычайных ситуаций на прирельсовом складе светлых нефтепродуктов и приведены мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций.*

**Ключевые слова:** прирельсовый склад, хранение нефтепродуктов, чрезвычайные ситуации, профилактические мероприятия.

**П**рирельсовый склад светлых нефтепродуктов — это комплекс оборудования, который включает в себя резервуары, насосы, трубопроводы, систему слива с ж/д цистерн и автоцистерн, систему налива в ж/д цистерны и автоцистерны.

Прием и отпуск топлива производится через наливную автомобильную и ж/д эстакады, на которых расположено по два насоса КМН-100 и СВН-80 на каждой, счетчики жидкостные и наливные гофрированные рукава из бензостойкой резины [1, 6].

Для исследования возможных источников чрезвычайных ситуаций на объекте, изучен план по предупреждению и ликвидации разливов нефтепродуктов [2], где описаны возможные источники ЧС техногенного характера и источники разливов нефтепродуктов.

«Источниками ЧС техногенного характера являются:

— выброс нефтепродукта и его растекание в пределах площадки объекта;

— воспламенение разлива нефтепродукта;

— взрыв облака ТВС». [2, 31].

«Возможными источниками разливов могут быть:

— резервуары хранения;

— технологические трубопроводы, арматура на них (в случае их разрушения или нарушения соединения);

— продуктовые насосные станции (при нарушении режимов перекачки, разрушении и др.);

— сливоналивные устройства (в случае неисправности, ошибок персонала и т.д.);

— автомобильные цистерны и ж/д цистерны, используемые для доставки и отгрузки нефтепродуктов». [2, 31].

На объекте выделяются три группы взаимосвязанных причин, способствующих возникновению и развитию аварий:

— отказы технологического оборудования;

— ошибки персонала;

— воздействия природного и техногенного характера.

«На складах нефтепродуктов наиболее часто происходят аварии и разливы нефтепродуктов в системах перекачки при разрыве соединительных рукавов, разгерметизации технологических трубопроводов и оборудования насосных установок, которые могут стать источником ЧС(Н) на складах нефтепродуктов только при стечении самых неблагоприятных случаев». [2, 32]. Соотношение причин таких разливов приведено в таблице 1.

Таблица 1. Причины аварий и утечек на трубопроводах (Остальные трубопроводы%)

Причина аварии	Транспортные трубопроводы	Линии сброса	Остальные трубопроводы
Коррозия	16,6	29,4	19,3
Внешнее повреждение	53,5	38,3	49,8
Разрушение материала	16,9	18,3	18,5
Дефекты строительства	5,6	5,1	4,8
Прочие	7,4	8,9	7,7

Коррозия труб, особенно внутренняя, является основной причиной большинства утечек и порывов, в основном, при длительной эксплуатации.

Внешняя коррозия обычно возникает на участках, где разрушено или повреждено внешнее покрытие, и трубопровод соприкасается с агрессивной средой (землей и др.). Другими причинами внешней коррозии могут быть:

- расслоение или местное отслоение защитного покрытия вследствие чрезмерно высокого потенциала катодной защиты;
- нарушение или неправильная установка катодной защиты;
- снижение эффективности катодной защиты, ввиду воздействия на нее катодной защиты рядом расположенных трубопроводов.

Внешнее повреждение трубопроводов является второй по значению причиной создания аварийной ситуации и может возникнуть в результате:

- механического воздействия на трубопровод (например, удар или полный разрыв трубопровода ковшом экскаватора при работах, не связанных с его строительством или эксплуатацией, и др.);
- природных факторов риска (землетрясения, оползни, проседания, пучения, разжижения грунта и т.д.).

К механическим повреждениям также относятся разрывы и трещины, возникающие, когда напряжения в стенке трубопровода превышают допустимые пределы. Такого рода ситуации, как правило, являются следствием недостаточно высокого качества сталей, из которых изготовлены трубы.

С целью предупреждения чрезвычайных ситуаций, связанных с разливами нефтепродуктов на прирельсовом складе

светлых нефтепродуктов, предусматривается выполнение инженерно-технических, специальных и организационных мероприятий, направленных на исключение разгерметизации оборудования и предупреждение разливов нефтепродуктов.

Организационные мероприятия:

- проводится профессиональная и противоаварийная подготовка обслуживающего персонала;
- своевременно проверяются знания норм и правил промышленной безопасности;
- проводится обучение персонала;
- поддерживается постоянное взаимодействие с органами УФСБ, УГОЧС.

Инженерно-технические мероприятия:

- проводится контроль технического состояния оборудования;
- проведение сезонных профилактических работ;
- содержатся в постоянной готовности автомобили, специальная техника, различный инструмент, ремонтный материал, запасы строительных материалов, сорбирующих средств (песка), других материально-технических средств;
- имеется круглосуточная телефонная связь.

Специальные мероприятия:

- поддерживаются взаимосвязи с органами ГО и ЧС, ОВД;
- создан резерв материальных и финансовых ресурсов;
- заключен договор;
- на ликвидацию аварийных разливов нефти и нефтепродуктов;
- заключен договор страхования.

Литература:

1. Казанцев К.Е. Научно-исследовательская работа второго семестра. — Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023–24 с.
2. План по предупреждению и ликвидации разливов нефтепродуктов на прирельсовом складе светлых нефтепродуктов. — Москва, ООО «...», 2018–111 с.

## Прогнозирование объемов и площадей разливов нефтепродуктов на прирельсовом складе светлых нефтепродуктов

Казанцев Константин Евгеньевич, студент магистратуры  
Тюменский индустриальный университет

В статье приведены результаты расчетов объемов и площадей разливов нефтепродуктов на прирельсовом складе светлых нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** прогнозирование объемов и площадей разливов нефтепродуктов, расчеты, разгерметизация емкостного оборудования.

Согласно Постановления Правительства РФ от 31 декабря 2020 года N2451 [1] прогнозирование осуществляется относительно последствий максимально возможных разливов нефти.

«Целью прогнозирования является определение:

- возможных масштабов разливов нефтепродуктов;
- границ районов повышенной опасности возможных разливов нефтепродуктов;

— последовательности, сроков и наиболее эффективных способов выполнения работ по ликвидации разливов нефтепродуктов». [1].

С помощью применения методики определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных неф-

тепроводах [2] произведены расчеты прогнозирования объемов и площадей разливов нефтепродуктов на прирельсовом складе светлых нефтепродуктов, результаты приведены в таблицах с 1–3.

Параметры для расчеты взяты из технологического регламента прирельсового склада светлых нефтепродуктов [3].

Таблица 1. Параметры возможных разливов нефтепродуктов при разгерметизации ёмкостного оборудования прирельсового склада светлых нефтепродуктов

Вид оборудования	Объем разлива (с учетом наполняемости), м <sup>3</sup>	Масса разлива, т	Площадь зоны разлива, м <sup>2</sup>
PBC 1000	950	807,5	Ограниченна площадью обвалования 4750
PBC 1000	950	807,5	
PBC 1000	950	807,5	
PBC 1000	950	807,5	
PBC 400	380	323	Ограниченна площадью обвалования 1900
PBC 400	380	323	
РГС 75	71,25	60,6	Ограниченна площадью обвалования 356,25
РГС 75	71,25	60,6	
РГС 75	71,25	60,6	
РГС 75	71,25	60,6	
Автоцистерна (V = 2 м <sup>3</sup> )	1,9	1,6	9,5
Автоцистерна (V = 12 м <sup>3</sup> )	11,4	9,7	57
Автоцистерна (V = 50 м <sup>3</sup> )	47,5	40,4	237,5
ж/д цистерна (V = 60 м <sup>3</sup> , 6 цистерн)	171	145,4	3423
ж/д цистерна (V = 80 м <sup>3</sup> , 6 цистерн)	228	193,8	4564
ж/д цистерна (V = 140 м <sup>3</sup> , 6 цистерн)	399	339,2	7987

Таблица 2. Параметры возможных разливов нефтепродуктов при разгерметизации насосных установок прирельсового склада светлых нефтепродуктов

№ насоса	Количество единиц оборудования	Физические условия содержания опасного вещества		Объем разлива, м <sup>3</sup>	Масса разлива, т	Площадь зоны разлива, м <sup>2</sup>
		Давление, МПа	Температура, °С			
Н 1	2 м. 0,7 м	0,6	-50 — +50	6,685	5,682	289,113
Н 2	2 м. 0,7 м	0,6	-50 — +50	6,685	5,682	289,113
Н 3	2 м. 0,7 м	0,6	-50 — +50	6,685	5,682	289,113
Н 4	2 м. 0,7 м	0,6	-50 — +50	6,685	5,682	289,113
Н 5	2 м. 0,7 м	0,6	-50 — +50	6,685	5,682	289,113
Н 6	2 м. 0,7 м	0,6	-50 — +50	6,685	5,682	289,113
Н 7	2 м. 0,7 м	0,6	-50 — +50	6,685	5,682	289,113
Н 8	2 м. 0,7 м	0,6	-50 — +50	6,685	5,682	289,113

Таблица 2 (продолжение)

№ насоса	Количество единиц оборудования	Физические условия содержания опасного вещества		Объем разлива, м³	Масса разлива, т	Площадь зоны разлива, м²
		Давление, МПа	Температура, °С			
Н 9	1,5 м. 0,5 м	0,6	-50 — +50	8,334	7,084	351,793
Н 10	1,5 м. 0,5 м	0,6	-50 — +50	6,674	5,673	288,689
Н 11	2 м. 0,7 м	0,6	-50 — +50	8,345	7,093	352,206
Н 12	2 м. 0,7 м	0,6	-50 — +50	8,345	7,093	352,206
Н 13	1,5 м. 0,5 м	0,6	-50 — +50	6,674	5,673	288,689
Н 14	1,5 м. 0,5 м	0,6	-50 — +50	8,334	7,084	351,793

Таблица 3. Параметры возможных разливов нефтепродуктов при разгерметизации технологического трубопровода прирельсового склада светлых нефтепродуктов

Наименование оборудования	Максимальное расстояние между запорной арматурой трубопровода (длина рукавов), м	Диаметр трубопровода, толщина стенки, мм	Объем РН, м³	Масса РН, т	Площадь РН, м²
Трубопровод стальной (от Н-12 до авто эстакады)	67	108 x 3	0,613	0,521	34,48
Трубопровод стальной (от Н-9,10 до ж/д эстакады)	97	108 x 3	0,888	0,755	47,95
Трубопровод стальной (от Н-3,4 до Н-11)	31	108 x 4	0,284	0,241	17,39
Трубопровод стальной (от Н-1,2 до РВС-5,6)	94	159 x 3,5	1,865	1,586	92,82
Трубопровод стальной (от РВС-5,6 до Н-1,2)	96	159 x 3,5	1,905	1,619	94,59
Трубопровод стальной (от ж/д эстакады до Н-9,10)	80	89 x 3	0,497	0,423	28,61
Трубопровод стальной (от Н-1,2 до ж/д эстакады)	56	159 x 3,5	1,111	0,945	58,53
Трубопровод стальной (от РВС-2 до Н-13)	250	108 x 3	2,289	1,946	111,38
Трубопровод стальной (от Н-5,6 до ж/д эстакады)	150	159 x 3,5	2,977	2,53	140,73
Трубопровод стальной (от Н-5,6 до авто эстакады)	93	108 x 3	0,852	0,724	46,22
Трубопровод стальной (от Н-7,8 до ж/д эстакады)	163	159 x 3,5	3,235	2,75	151,54
Трубопровод стальной (от Н-7,8 до авто эстакады)	83	108 x 3	0,76	0,646	41,75
Трубопровод стальной (от РВС-5,6 до ж/д эстакады)	100	89 x 2,5	0,622	0,529	34,93
Трубопровод стальной (от РВС-5,6 до Н-11)	7,5	159 x 3,5	0,149	0,127	9,79

Таблица 3 (продолжение)

Наименование оборудования	Максимальное расстояние между запорной арматурой трубопровода (длина рукавов), м	Диаметр трубопровода, толщина стенки, мм	Объем РН, м <sup>3</sup>	Масса РН, т	Площадь РН, м <sup>2</sup>
Трубопровод стальной (от РВС-2 до РВС-4)	20	108 × 3	0,183	0,156	11,76
Трубопровод стальной (от РВС-1 до РВС-3)	20	108 × 3	0,183	0,156	11,76
Трубопровод стальной (от Н-13 до ж/д эстакады)	45	108 × 3,5	0,412	0,35	24,21
Трубопровод стальной (от Н-14 до ж/д эстакады)	25	108 × 3,5	0,229	0,195	14,35
Гофрированный сливо-наливной рукав из бензостойкой резины (при сливе с ж/д цистерны)	6	100	0,05	0,04	3,71
Гофрированный сливо-наливной рукав из бензостойкой резины (при сливе с АЦ)	6	75	0,03	0,03	2,35

Согласно расчетам, наиболее опасная по последствиям авария на территории прирельсового склада светлых нефтепродуктов является разгерметизация железнодорожных цистерн — 50% общего объема цистерн в железнодорожном составе.

Разгерметизация железнодорожного состава (6 ж/д цистерн  $V = 140 \text{ м}^3$ ) → пролив ГЖ в обвалование и ее растекание → об-

разование взрывоопасной смеси в обваловании → появление источника зажигания → взрыв (дефлаграционное сгорание) ТВС → воздействие избыточного давления воздушной ударной волны на соседнее оборудование, персонал → воспламенение пролива → термическое поражение оборудования и персонала, с частотой  $\approx 10^{-8}$ .

#### Литература:

1. Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 года № 2451. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/573319208>.
2. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200031822>.
3. Технологический регламент эксплуатации прирельсового склада светлых нефтепродуктов. — Москва, ООО «...», 2018—246 с.

## Расчет количества сил и средств, необходимых для ликвидации разливов нефтепродуктов при наиболее опасной аварии на прирельсовом складе светлых нефтепродуктов

Казанцев Константин Евгеньевич, студент магистратуры  
Тюменский индустриальный университет

*В статье приведен расчет количества сил и средств, необходимых для ликвидации разливов нефтепродуктов при разгерметизации железнодорожной цистерны.*

**Ключевые слова:** расчет сил и средств, ликвидация разливов нефтепродуктов, разгерметизация железнодорожной цистерны.

Согласно расчетам, наиболее опасная по последствиям авария на территории прирельсового склада светлых нефтепродуктов является разгерметизация железнодорожных цистерн в железнодорожном составе.

Разгерметизация железнодорожного состава (6 ж/д цистерн  $V = 140 \text{ м}^3$ ) → пролив ГЖ в обвалование и ее растекание → образование взрывоопасной смеси в обваловании → появление источника зажигания → взрыв (дефлаграционное сгорание) ТВС → воздей-

ствие избыточного давления воздушной ударной волны на соседнее оборудование, персонал → воспламенение пролива → термическое поражение оборудования и персонала, с частотой  $\approx 10^{-8}$  [1 с. 36].

Произведем расчет количества сил и средств, необходимых для ликвидации разливов нефтепродуктов.

Нефтепродукты, могут быть удалены с помощью откачки насосами с использованием дренажной системы [2]. Для сбора нефтепродуктов могут быть использованы свободные объемы оставшихся емкостей [3].

Таким образом, специальные средства для сбора и транспортировки основной части разлившихся нефтепродуктов не предусматриваются. Зачистка территории резервуарного парка, может быть проведена сорбентами и механическими нефтесборщиками.

Расчет потребности в землеройной технике. Расчетное время (ТЛОК.Р.), необходимое на проведение земляных работ при локализации РН рассчитывается исходя из объема земляных работ — объема обваловки и производительности землеройной техники по формуле:

$$T_{\text{ЛОК.Р.}} = V_{\Gamma} / w \quad (1)$$

где:  $V_{\Gamma}$  — объем землеройных работ, м<sup>3</sup>;

$w$  — производительность техники, м<sup>3</sup>/час

Производительность землеройной техники ( $w$ , м<sup>3</sup>/час) определяется исходя из норм времени на разработку 100 м<sup>3</sup> грунтов I–IV групп экскаваторами ( $w_{\text{Э}}$ , м<sup>3</sup>/час) по формуле 2 бульдозерами ( $w_{\text{Б}}$ , м<sup>3</sup>/час) по формуле 5.3.5.:

$$w_{\text{Э}} = \frac{100}{T_{\text{Н}} \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{Г}} \cdot K_{\text{М}} \cdot K_{\text{В}} \cdot K_{\text{П}} \cdot K_{\text{К}} \cdot K_{\text{О}}} = \frac{100}{2,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,4 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,1} = 16,9 \text{ м}^3/\text{час} \quad (2)$$

где:  $T_{\text{Н}}$  — нормы времени (час) на разработку 100 м<sup>3</sup> грунта (принимаем: для экскаватора ТО-49 равным 2,1 часа [Методические рекомендации по разработке типового плана по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов для нефтегазовых компаний];

$K_{\text{Э}}$  — коэффициент, учитывающий условия работы экскаваторщика (при работе без помощника  $K_{\text{Э}} = 1,1$ , с помощником  $K_{\text{Э}} = 0,9$ );

$K_{\text{Г}}$  — коэффициент, учитывающий характеристики грунта (при разработке грунта и не мерзлого грунта, намерзающего на зубья стенки ковша  $K_{\text{Г}} = 1,1$ );

$K_{\text{М}}$  — коэффициент, учитывающий разработку грунта с настилов и сланей ( $K_{\text{М}} = 1,2$  для глинистых грунтов,  $K_{\text{М}} = 1,1$  для прочих грунтов);

$K_{\text{В}}$  — коэффициент, учитывающий разработку грунта из-под воды ( $K_{\text{В}} = 1,1$  при глубине воды 0,2÷0,5 м,  $K_{\text{В}} = 1,25$  при глубине воды до 2 м,  $K_{\text{В}} = 1,4$  при глубине воды до 4 м,  $K_{\text{В}} = 1,1$  при глубине воды свыше 4 м);

$K_{\text{П}}$  — коэффициент, учитывающий разработку грунта при угле поворота стрелы свыше 135° ( $K_{\text{П}} = 1,1$ );

$K_{\text{К}}$  — коэффициент, учитывающий разработку грунта в стесненных условиях ( $K_{\text{К}} = 1,2$ );

$K_{\text{О}}$  — коэффициент, учитывающий разработку легких грунтов ковшом увеличенной вместимости ( $K_{\text{О}} = 1,1$ )

$$w_{\text{Б}} = \frac{100}{T_{\text{Н}} \cdot K_{\text{Р}} \cdot K_{\text{Я}} \cdot K_{\text{М}} \cdot K_{\text{У}}} = \frac{100}{0,47 \cdot 0,85 \cdot 0,87 \cdot 1,15 \cdot 1,2} = 208,3 \text{ м}^3/\text{час} \quad (3)$$

где:  $T_{\text{Н}}$  — нормы времени (час) на разработку 100 м<sup>3</sup> грунта (принимаем: для бульдозера ДЗ-28 на базе трактора Т-130 равным 0,47 часа;

$K_{\text{Р}}$  — коэффициент перемещения ранее разработанного грунта при объеме в естественном залегании ( $K_{\text{Р}} = 0,85$ );

$K_{\text{Я}}$  — коэффициент, учитывающий работу бульдозеров с отвалами ящичного типа ( $K_{\text{Я}} = 0,87$ );

$K_{\text{М}}$  — коэффициент, учитывающий разработку сыпучих или вязких грунтов, в которых буксуют или вязнут гусеницы тракторов ( $K_{\text{М}} = 1,15$ );

$K_{\text{У}}$  — коэффициент, учитывающий разработку грунта с подъемом ( $K_{\text{У}} = 1,2$  при длине пути 11÷20%,  $K_{\text{У}} = 1,4$  при длине пути свыше 20%)

Нормативное время на локализацию РН с момента обнаружения разлива нефтепродуктов или с момента поступления информации о разливе любого уровня на почве не должно превышать 6 часов. При этом время на выполнение земляных работ по локализации РН рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{ЛОК.Н.}} = 6 - (T_{\text{ПБ}} + T_{\text{ОП}}) = 6 - (0,83 + 0,3) = 4,87 \text{ ч} \quad (4)$$

Расчет количества машин ( $N$ ) для проведения земляных работ для локализации РН на территории рассчитывается по формуле:

Таблица 1. Потребность в землеройной технике для сооружения обвалования РВС-2000

Вид землеройной техники	Нормативное время на локализацию РН	Расчетное время на локализацию РН	Количество машин (N)
Экскаватор	4,87 ч	7,46 ч	2
Бульдозер	4,87 ч	0,6 ч	1

$$N = \frac{T_{\text{ЛОК.Р.}}}{T_{\text{ЛОК.Н.}}} \quad (5)$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Расчет продолжительности сбора разлившихся нефтепродуктов при помощи нефтесборных устройств

При расчете потребности технических средств сбора разлившихся нефтепродуктов учтено, что их общая производительность  $Q_{\text{ОБЩ}}$  должна быть больше текущего расхода вылива нефтепродуктов,  $Q_{\text{Н}}$ :

$$Q_{\text{ОБЩ}} > Q_{\text{Н}} \quad (6)$$

В качестве технических средств по сбору разлившейся нефтепродуктов в обвалование, при разгерметизации оборудования и разлитии нефтепродуктов приняты мотопомпы марки «РТГ 307» производительностью 60 м<sup>3</sup>/час для перекачивания в емкости временного хранения.

Продолжительность сбора РН определена по формуле:

$$T = \frac{V_{\text{РН}}}{Q_{\text{ОБЩ}}} \quad (7)$$

Необходимый объем емкостей для временного хранения нефтепродуктов определяется из условия обеспечения работы технических устройств сбора нефтепродуктов по формуле:

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{РН}}}{T_{\text{В}} \cdot 0,8} \quad (8)$$

где:  $T_{\text{В}}$  — период вывозки нефтепродуктов в часах (принят 4 часа);

0,8 — коэффициент учитывающий, что заполнение нефтепродуктов не должно превышать 80% объема

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Продолжительность сбора РН при помощи нефтесборных устройств, объем ёмкостей временного хранения РН

Сценарий аварии	Продолжительность сбора РН, часов	Объем ёмкостей для сбора РН, м <sup>3</sup>
Разгерметизация ж/д цистерны ( $V = 140$ м <sup>3</sup> , 6 цистерн)	133,1	2495,9

Расчет продолжительности сбора разлившихся нефтепродуктов при помощи землеройной техники

Бульдозеры используются на работах по планировке площадки, обеспечению прохождения транспортных средств и сбору замазученного грунта.

Объем грунта, загрязненного нефтепродуктами, определяется по формуле:

$$V_{\text{ГР}} = 0,05 \cdot S \quad (9)$$

Один бульдозер за час работы сможет срезать и собрать в отвалы грунт толщиной 5 см (0,05 м) с участка длиной  $L=100$  м на ширину ножа бульдозера 2 м. Несколько бульдозеров выполняют работу по зачистке загрязненной нефтепродуктами территории за следующее время ( $T$ ):

$$T = \frac{V_{\text{ГР}}}{w \cdot n} \quad (10)$$

где:  $w$  — часовая производительность землеройной техники;

$n$  — количество землеройной техники

Для перевозки этого грунта потребуется автотранспорт при следующем количестве рейсов, определяемых по формуле:

Таблица 3. Объем загрязненного грунта и время сбора РН при помощи землеройной техники

Сценарий аварии	Объем загрязненного грунта, м³	Продолжительность сбора РН, часов		Количество рейсов (самосвал, 1 шт.)
		Экскаватором (1 шт.)	Бульдозером (1 шт.)	
Разгерметизация ж/д цистерны (V = 140 м³, 6 цистерн)	399,35	0,6	0,05	2

Таблица 4. Потребность в сорбенте

Сценарий аварии	Масса разлива, кг	Количество сорбента, кг
		«С-ВЕРАД»
Разгерметизация ж/д цистерны (V = 140 м³, 6 цистерн)	339,2	42,4

$$n = \frac{V_{гр}}{V_c}$$

(11)

где:  $V_c = 10 \text{ м}^3$  — средняя грузоподъемность 1 ед. имеющегося автотранспорта, м3  
Результаты расчетов сведены в таблицу 3.  
Для сбора разлившихся нефтепродуктов используется сорбент марки «С-ВЕРАД» нефтеемкостью: 1 килограмм нефти/кг — 8/1.  
Результаты расчетов сведены в таблицу 4.  
Время ликвидации аварии составит не более 72 часов.

Литература:

1. Технологический регламент эксплуатации прирельсового склада светлых нефтепродуктов.— Москва, ООО «...», 2018–246 с.

2. СНиП 2.11.03–93. Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы [Электронный ресурс]: URL: <https://tehcontent.ru/skachat-snip-2-11-03-93-sklady-nefti-i-nefteprodyktov-protivopozharnye-normy.html>.

3. РД 153–39.4–073–01. Типовой план ликвидации возможных аварий на магистральных нефтепродуктопроводах [Электронный ресурс]: URL: <https://library-full.nadzor-info.ru/doc/6054>.

Влияние разгрузочного модуля на осадки точки дна котлована

Корниенко Катерина Валентиновна, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В современных условиях невозможно развитие исторического города без использования подземного пространства. Ранее глубокие ямы в городе не использовались из-за специфических геологических условий Санкт-Петербурга, в том числе наличия слабых глинистых отложений на глубине 20–30 метров. Однако, чтобы избежать негативного влияния на окружающие здания, необходимо контролировать подвижки грунта, которые неизбежны, особенно при условии слабых и рыхлых грунтов. В статье рассмотрено влияние разгрузочного модуля на осадки точки дна котлована. Выполнено численное моделирование в ПК Plaxis 2D на основе лабораторных испытаний грунтов при действии вертикальной нагрузки.

**Ключевые слова:** НДС грунта, численное моделирование, ПК Plaxis 2D, модуль деформации, модуль разгрузки.

1. Численное моделирование

В данной статье рассмотрим влияние разгрузочного модуля на осадки точки дна котлована.  
Численное моделирование выполнено на основе лабораторных испытаний грунтов при действии вертикальной нагрузки.  
Моделирование выполнялось в ПК Plaxis 2D. Для исследования была выбрана модель Hardening Soil (упругопластическая модель с упрочнением). В данной грунтовой модели отдельно рассматриваются модуль деформации грунта при девиаторном нагру-

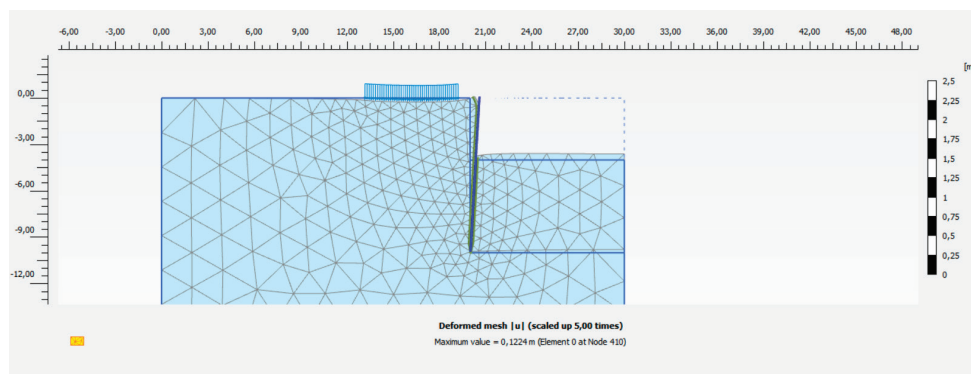


Рис. 1. Деформационная сетка(max), м (ИГЭ-4а)

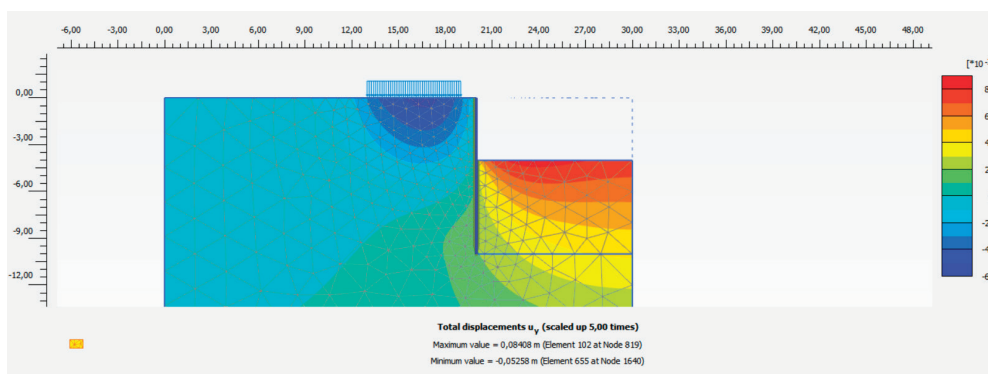


Рис. 2. Полные перемещения (max/min), м(ИГЭ-4а)

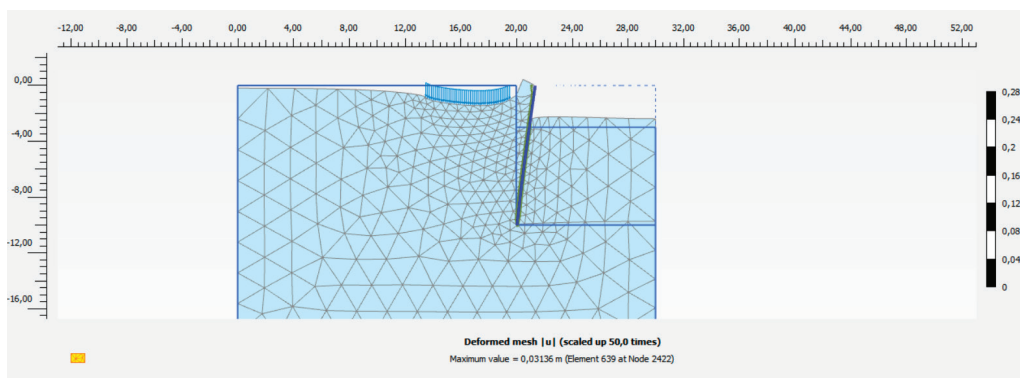


Рис. 3. Деформационная сетка(max), м(ИГЭ-4а)

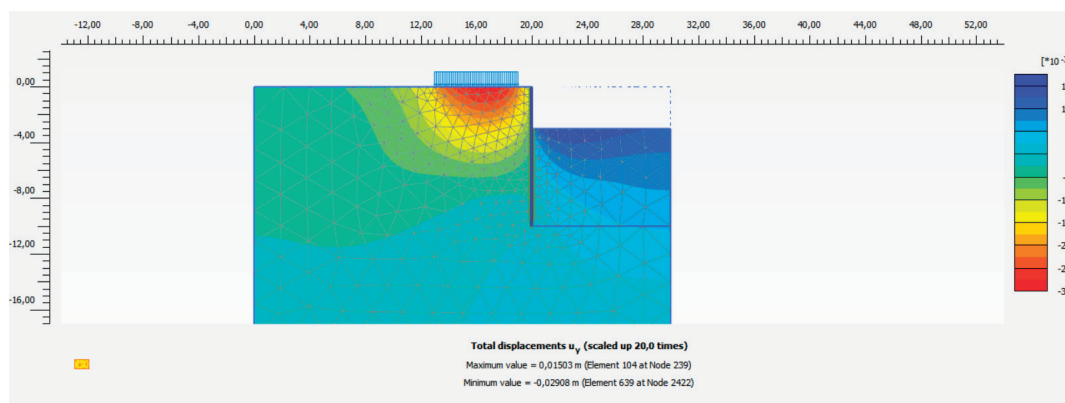


Рис. 4. Полные перемещения (max/min), м (ИГЭ-4а)

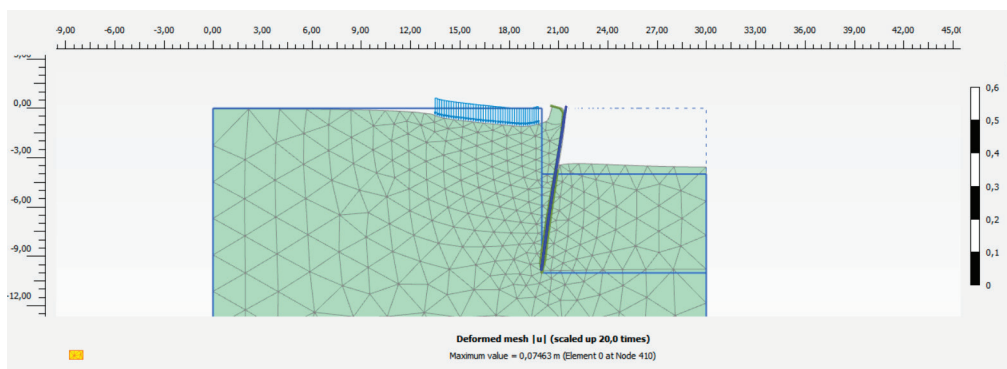


Рис. 5. Деформационная сетка(max), м (ИГЭ-5)

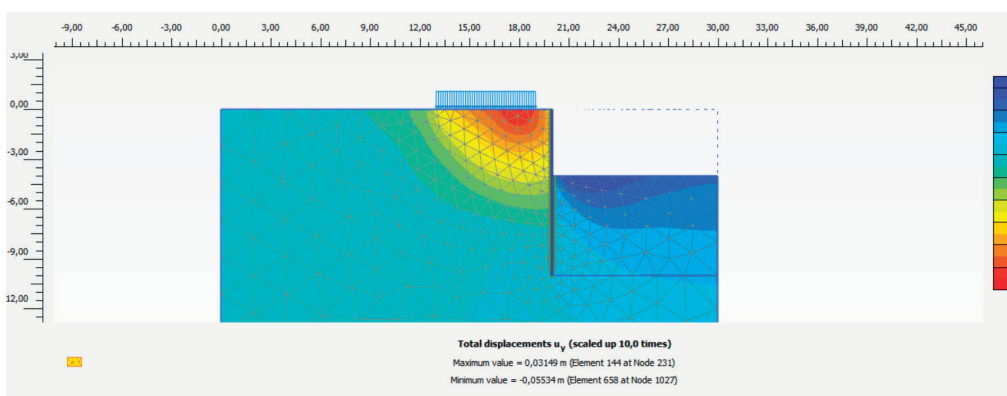


Рис. 6. Полные перемещения (max/min), м (ИГЭ-5)

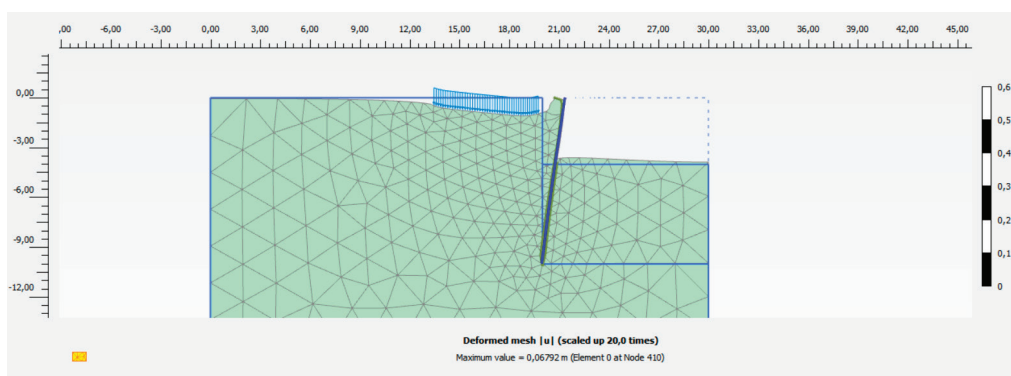


Рис. 7. Деформационная сетка(max), м (ИГЭ-5)

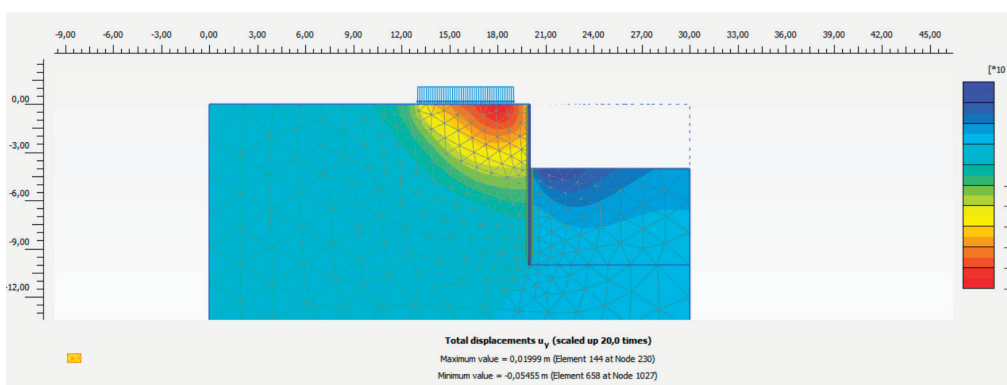


Рис. 8. Полные перемещения (max/min), м (ИГЭ-5)

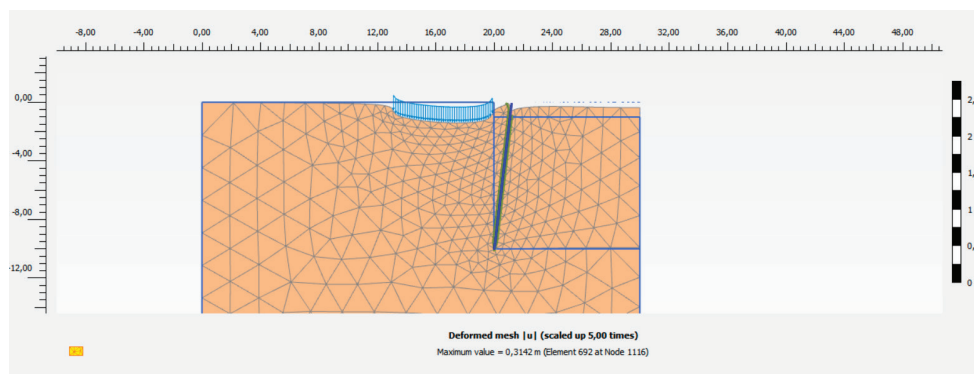


Рис. 9. Деформационная сетка(max), м (ИГЭ-7)

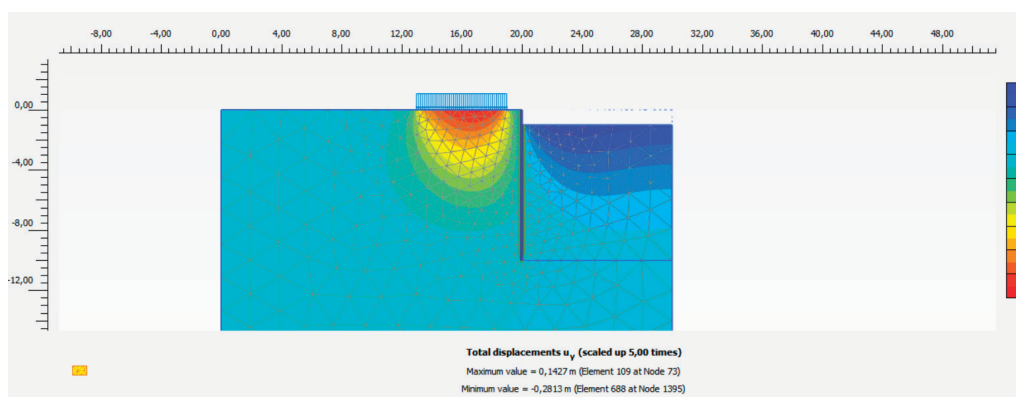


Рис. 10. Полные перемещения (max/min), м (ИГЭ-7)

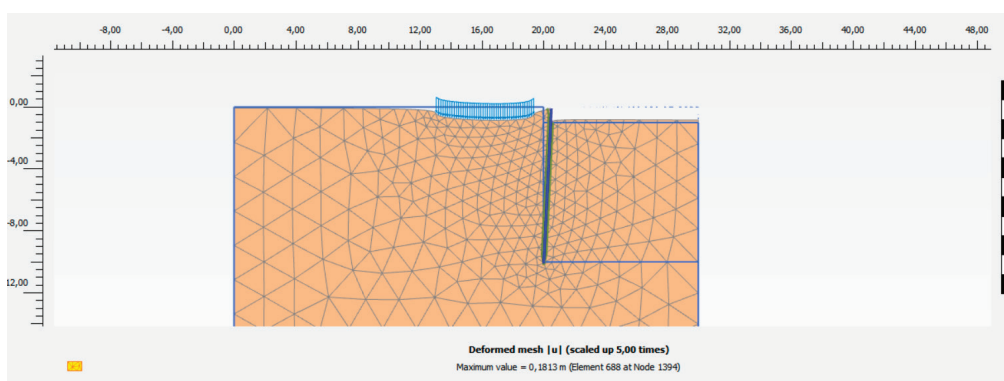


Рис. 11. Деформационная сетка(max), м (ИГЭ-7)

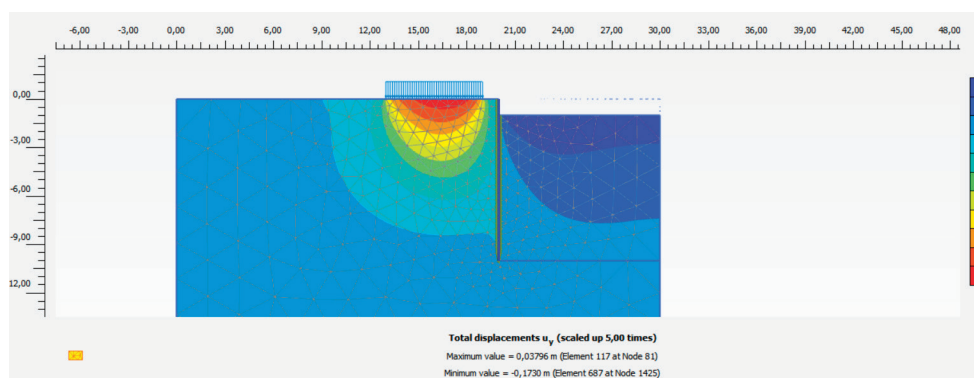


Рис. 12. Полные перемещения (max/min), м (ИГЭ-7)

жении ( $E_{50}^{ref}$ ), модуль деформации при сжатии ( $E_{oed}^{ref}$ ) и модуль разгрузки и повторного нагружения грунта ( $E_{ur}^{ref}$ ) [1], которые задавались согласно данным лабораторных испытаний.

Результаты численного моделирования в ПК Plaxis 2D представлены выше в виде Рисунков 1–12 и сводной Таблицы 1.

Таблица 1. Сводные данные результатов численного моделирования

№	Тип грунта	Eur min/ max, МПа	Деформ. сетка (max), м	Полные перемещения (max/min), м
1	Насыпные грунты: пески, супеси со строительным мусором, с примесью органических веществ	38,79	0,026	0,024 –0,024
		102,22	0,027	0,008 –0,025
4	Супеси пылеватые текучие серые с прослоями песка с примесью органических веществ	17,89	0,073	0,051 –0,061
		39,63	0,068	0,027 –0,061
4a	Супеси пылеватые пластичные серые с прослоями песка, с растительными остатками	14,71	0,122	0,084 –0,053
		56,95	0,031	0,015 –0,029
5	Пески пылеватые плотные серые насыщенные водой, с растительными остатками	59,35	0,075	0,031 –0,055
		175,49	0,068	0,020 –0,055
6	Пески средней крупности средней плотности серые насыщенные водой, с растительными остатками	148,9	0,054	0,017 –0,043
		203,59	0,052	0,015 –0,041
7	Слабозаторфованные грунты черные насыщенные водой	5,11	0,314	0,143 –0,281
		16,63	0,181	0,037 –0,173
9	Суглинки тяжелые пылеватые текучие коричневатые-серые ленточные	11,02	0,163	0,105 –0,078
		17,98	0,127	0,065 –0,074
10	Суглинки легкие пылеватые текучепластичные серые слоистые	15,33	0,066	0,058 –0,044
		29,44	0,149	0,059 –0,085
13a	Суглинки легкие пылеватые тугопластичные серые с гравием, галькой до 5% с гнездами песка	37,78	0,037	0,029 –0,018
		48,72	0,032	0,022 –0,018

## Выводы

Величина разгрузочного модуля имеет непосредственное влияние на уровень осадок в точке дна котлована. Результаты показали, что фактический модуль разгрузки Eur составляет в среднем на 30% меньше, чем рекомендуется ПК Plaxis 2D. Кроме того, значения модулей разгрузки, полученные с использованием разных лабораторных приборов, также могут отличаться, влияя на показатели поднятия точки дна котлована и уровень осадков грунта.

В итоге можно заключить, что основные причины расхождения результатов математического моделирования с натурными данными состоят в следующем:

1. Недостаточно информации о геологической структуре изучаемого массива.
2. Применяемые в указанных ПК расчётные модели характеризуются высокой степенью усреднения, несоизмерны фактической работе грунта под нагрузкой и требуют тщательной проверки в конкретных инженерно-геологических условиях.
3. Согласно аналитическим расчетам механики грунтов, ожидаемые осадки зданий выше на 30–40% по сравнению с реальными данными.

Литература:

1. Типичные ошибки применения Plaxis 2D при расчете котлованов/ GOUW Tjie-Liong.

## Особенности системы управления самолетом Airbus A320

Лакутин Сергей Сергеевич, студент магистратуры;

Шушунова Любовь Сергеевна, студент магистратуры

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова

*В данной статье рассмотрены конструктивные и эксплуатационные особенности системы управления самолета Airbus A320. Рассмотрены особенности работы электродистанционной системы в пассажирском авиалайнере, а также преимущества и недостатки внедрения данной системы. Область применения статьи — летная эксплуатация воздушного судна на производстве, а также в целях обучения летного персонала.*

**Ключевые слова:** электродистанционная система управления, электрогидравлические сервоприводы, функциональное резервирование.

## Features of the Airbus A320 aircraft control system

Lakutin Sergei Sergeevich, student master's degree;

Shushunova Liubov Sergeevna, student master's degree

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A. A. Novikov

*This article discusses the design and operational features of the Airbus A320 aircraft control system. The features of the operation of the electric station system in a passenger airliner are considered. Advantages and disadvantages of implementing this system. The scope of the article is the flight operation of an aircraft in production, as well as for the purpose of training flight personnel.*

**Keywords:** electric control system, electrohydraulic servos, functional redundancy.

Система управления самолетом всегда относилась к числу наиболее важных систем самолета, непосредственно влияющих на безопасность полета. Она обеспечивает точность взлетно-посадочных маневров, позволяет облетать препятствия (например, грозовые облака), она также способна парировать отказы авиационной техники и воздействие других неблагоприятных факторов (атмосферной турбулентности, спутного следа, ошибок в пилотировании и т.д.).

Самолет как система представляет собой совокупность непосредственно связанных между собой управляемых подсистем. Таким образом, совокупность бортовых устройств, обеспечивающих управление системами и агрегатами самолета, а также управление самолета в целом, называют системой управления самолетом.

Электродистанционная система управления (FBW), как правило, заменяет электронным интерфейсом ручное управление полетом самолета. Движение органов управления пре-

образуются в электрические сигналы, которые по проводам передаются в компьютеры системы управления полетом, а они, в свою очередь, определяют, как отклонять исполнительные механизмы на каждой поверхности управления, чтобы обеспечить требуемый отклик. Также с компьютеров поступают дополнительные команды для стабилизации самолета и выполнения других задач. Электроника систем управления полетом самолета является частью области, известной как авионика.

Технически оснащенная, современная кабина пилотов Airbus A320 и электродистанционная система управления являются главной особенностью данного самолета. Ручку управления принято называть сайдстиком.

Сайдстики командира и второго пилота не связаны напрямую с плоскостями управления, а также они не связаны между собой, что значительно усложняет пилотирование в усложненных ситуациях. Каждое их движение обрабаты-

ется бортовыми компьютерами, и информация передается по проводам на гидравлические приводы, которые приводят в действие и выполняют необходимые движения плоскостей рулей. Достаточно высокий уровень автоматики в управлении воздушным судном и его системами позволил ограничить количество членов экипажа двумя пилотами.

Одна из основных задач системы управления самолетом — обеспечить полет по заданной траектории путем создания необходимых аэродинамических сил и моментов на крыле и оперении.

Система управления воздушным судном состоит из:

- системы управления по тангажу (управление рулем высоты — РВ);
- системы управления по курсу (управление рулем направления — РН);
- системы управления по крену (управление элеронами и гасителями подъемной силы);
- системы управления средствами механизации крыла (закрылками, предкрылками и тормозными щитками).

Знание особенностей системы управления в боковом канале, канале тангажа и крена как и других систем самолета, может помочь экипажу ВС в случае нештатной ситуации принять жизненно важное решение.

На самолетах Airbus применено управление «Fly-by-wire» — «управление по проводам», то есть ручка управления, находящаяся в кабине, не имеет прямой связи с поверхностями управления на крыле и хвостовом оперении самолета.

Отклонения ручки считываются датчиками и передаются в специальные компьютеры (FAC, ELAC, SEC), кроме того эти компьютеры получают еще и данные о скорости и высоте полета, перегрузке, пространственном положении самолета, режиме работы двигателей, а также от автопилота. После обработки сигнала от датчиков положения ручки управления (или автопилота) и сравнения пожеланий пилота с текущим положением самолета, компьютеры решают, как и насколько нужно отклонить рули.

Пилоты перемещают управляющие рычаги в кабине. Сигналы движения рычага считываются установленными на них датчиками, которые в свою очередь по средствам вычислительных систем преобразуют сигналы в аналоговые или цифровые. Далее эти сигналы по каналам связи поступают в вычислитель системы управления. Вычислитель также принимает и другие сигналы от датчиков систем самолета: угловую скорость, угол атаки, угол скольжения и целый ряд других параметров. Главный вычислитель по заложенным в него алгоритмам анализирует и преобразует полученные сигналы с датчиков для целей управления приводами. В вычислитель ЭДСУ также заложены функции по ограничению предельных режимов полета, для целей безопасного самолетовождения. Имеется ограничения по углу атаки, по перегрузке, по скорости и ряду других важных параметров. Таким образом ограничения предельных режимов значительно повышает безопасность полетов и уменьшает вероятность попадания воздушного судна в нежелательные режимы полета.

Для управления по курсу электродистанционное управление от автоматических систем осуществляется через дополнительные электрогидравлические сервоприводы, а при управлении от пилота используются традиционные гидравлические

рулевые приводы с механическим управлением и механической позиционной обратной связью. Такое техническое решение было принято из стремления обеспечить максимальную надежность системы приводов управления по курсу. Поэтому применяются традиционные надежные следящие гидроприводы, которые имеют механическое управление для отклонения поверхности руля направления.

Поскольку при односекционном руле направления управление по курсу практически не имеют функционального резерва. Поэтому приводная система управления по курсу пассажирского самолета должна обладать повышенной по сравнению с системой приводов элеронов и руля высоты безотказностью, и ни при каких обстоятельства не допускать потери управления. Также рулевые приводы руля управления работают в режиме суммирования сил на общем выходном звене — рулевой поверхности. В гидроприводах с механическим управлением удается отрегулировать гидрораспределители с помощью специальных регулировочных муфт.

Как следствие система управления самолетом EFCS обеспечивает:

- высокий уровень безопасности полетов;
- малая вероятность попадания в конфигурации, приводящие к срыву потока, превышению допустимых нагрузок на конструкцию самолета, разгону свыше допустимой скорости;
- обеспечивает требуемую безопасность в условиях сдвига ветра;
- высокий уровень экономических показателей посредством снижения массы за счет автоматической системы управления полетом AFS и разгрузки крыла, снижения затрат на техническое обслуживание, на подготовку персонала, снижение производственных затрат;
- плавное управление и комфорт за счет совершенной системы управления;
- управление в полете производится посредством традиционных поверхностей;
- все поверхности управляются гидравлически.

Надежная работа критически важных систем самолета является ключевым фактором обеспечения безопасности полета. Это имеет самое прямое отношение к ЭДСУ. На борту самолета параллельно работают четыре или более каналов управления, каждый из которых имеет свой вычислитель, датчики, преобразователи и проводку. Существует также система, которая управляет процессом работы каналов путем сравнения сигналов каждого канала между собой в некоторых ключевых точках. Она способна «игнорировать мнение» того вычислителя, который выдает ложную информацию, определяемую как превышение допустимого предела. Также часто применяются многоуровневые дополнительные сигналы контроля за соблюдением параметров, вплоть до полной проверки качества, поступающего в ЭДСУ (и которое также дублируется). Таким образом, качественное функционирование системы ЭДСУ практически полностью снижает риск вероятности отказа системы в полете.

Имеется резервирование каналов режима управления, что позволяет в случае отказа перейти на упрощенный режим пилотирования. Наиболее сложная задача в данном случае заключается в анализе разработчиками всех возможных отказов

с целью многократного резервирования и качественного проектирования системы.

Применяя функциональное резервирование в канале крена и тангажа, используя различные рули и системы электроприводов дистанционного управления с цифровыми вычислителями, легче решить проблему обеспечения требуемой надежности управления. Стоит обратить особое внимание на управление в канале рысканья. Во время сильного бокового ветра функциональный резерв управления пассажирским авиалайнером по курсу отсутствует и при отказе системы приводов руля направления может возникнуть аварийная ситуация. Именно поэтому, при проектировании системы управления в канале рысканья необходимо использовать и реализовать такое конструктивное решение, которое обладает повышенной надежностью по сравнению с системой привода элеронов и руля высоты и ни при каких обстоятельствах не допускает полной потери управления этим рулем. Именно поэтому в системе руля направления используются традиционные гидравлические рулевые приводы с механическим управлением и механической позиционной обратной связью. Такое техническое решение было принято из стремления обеспечить максимальную надежность системы приводов управления по курсу.

#### Литература:

1. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. — Москва: 2002. — 832 с.;
2. Корнеев, В. М. Самолет Airbus A320. Анализ конструкции и летной эксплуатации / В. М. Корнеев. — Москва: Издательские решения, 2016. — 74 с.

#### Преимущества ЭДСУ:

- система увеличивает безопасность полёта;
- сокращаются издержки;
- уменьшается рабочая нагрузка на пилотов;
- улучшается производительность воздушного судна;
- исчезает механическая проводка, что значительно упрощает техническое обслуживание самолета, а также сокращается массогабаритный параметр;
- система стала умнее и быстрее, а также может полностью контролировать действия пилота, защищая от выхода на запрещенные режимы полета.

#### Недостатки ЭДСУ:

- сложность в обеспечении достаточной надёжности ЭДСУ;
- высокий уровень квалификации персонала, эксплуатирующего воздушное судно и осуществляющего техническое обслуживание;
- отсутствие связи между командными рычагами обоих пилотов.

Знание и понимание работы систем управления самолетом поможет пилоту правильно и своевременно принять решение для стабилизации полета и его безопасного завершения.

## Анализ неисправности оборудования дожимной компрессорной станции

Томус Ирина Юрьевна, кандидат медицинских наук, доцент;  
Ефремова Алина Геннадьевна, студент магистратуры  
Тюменский индустриальный университет

*В статье проведен анализ статистических данных о поломках оборудования ДКС и выявлена взаимосвязь с работой системы противоаварийной защиты.*

**Ключевые слова:** ДКС, неисправности оборудования, система противоаварийной защиты.

Дожимная компрессорная станция является опасным производственным объектом, эксплуатация ДКС регулируется Федеральным законом № ФЗ-116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1], основную опасность представляют факторы с использованием природного газа и оборудования, работающего под давлением.

Так как развитие аварийной ситуации может произойти в совокупности из-за неисправного оборудования и проблем в работе систем противоаварийной защиты, мной были изучены технологический регламент объекта [2] и годовой отчет о проверках систем противоаварийной защиты и вспомогательных систем [3].

Проводим статистический анализ данных из годового отчета по неисправностям оборудования объекта за 2020 год, оформляем в таблицу 1 и диаграмму на рисунке 1.

Из таблицы 1 и диаграммы 1 видим, что самое большое количество неисправностей (16 случаев и 49% от общего числа) — это высокая температура газа после аппарата воздушного охлаждения — значит происходит частое загибание трубок — трубки забиваются гидратными пробками, данные неисправности являются легкоустраняемыми с помощью использования централизованной системы подачи ингибитора гидратообразования — метанола с емкостей, расположенных в парке метанола. Стоит обратить внимание на наличие одного случая загазованности помещения, противоаварийная система при данном случае сработала оптимально, и загазованность не привела к взрыву.

Подробно изучаем годовой отчет о ежегодной проверке работоспособности системы противоаварийной защиты ДКС, проведенной в 2020 году [3] — таблица 2.

Таблица 1. Неисправности оборудования ДКС за 2020 год

Вид неисправности	Количество случаев
Пропуск газа во фланцевых соединениях АВО газа	10
Чрезмерная вибрация вентилятора	6
Высокая температура газа после АВО	16
Загазованность помещения	1
Всего	33

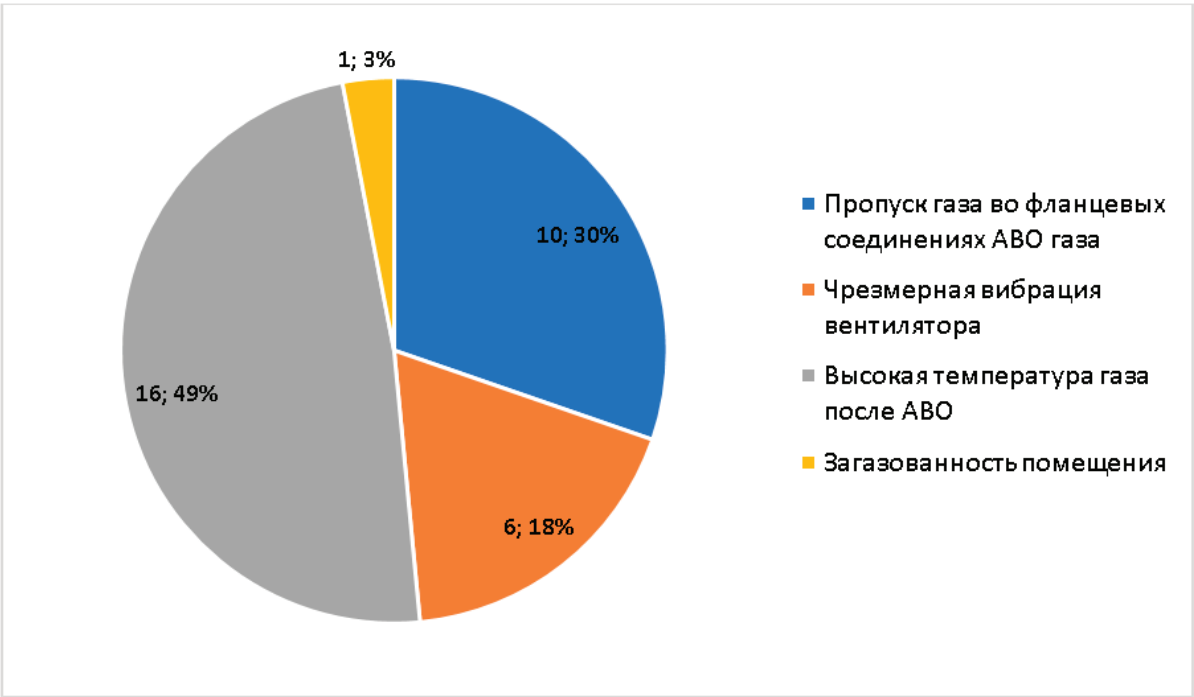


Рис. 1. Количество неисправностей оборудования ДКС за 2020 год

Таблица 2. Неисправности ПАЗ ДКС за 2020 год

Вид неисправности	Количество случаев
поломка кабеля	23
отсутствие сигнала от системы контроля загазованности	4
выход из строя газоанализаторов	2
Всего	29

На момент проверки в работе системы ПАЗ ДКС определено 29 неисправностей и большее число из них связаны с поломками соединяющих кабелей, соответственно проведены ремонтные работы и на момент возникновения случая загазованности (см. табл. 1) — система работала оптимально.

Составим общую диаграмму случаев неисправностей оборудования ДКС за 2020 год с разделением на основное оборудование и систему ПАЗ — рисунок 2.

Необходимо отметить, если бы случай загазованности помещения произошел до проведения ремонтных работ в системе ПАЗ ДКС, то произошла бы авария по следующему сценарию — разгерметизация оборудования → загазованность помещения → несрабатывание системы контроля загазованности → несрабатывание системы аварийной вентиляции → образование облака ТВС → возникновение источника зажигания → взрыв.

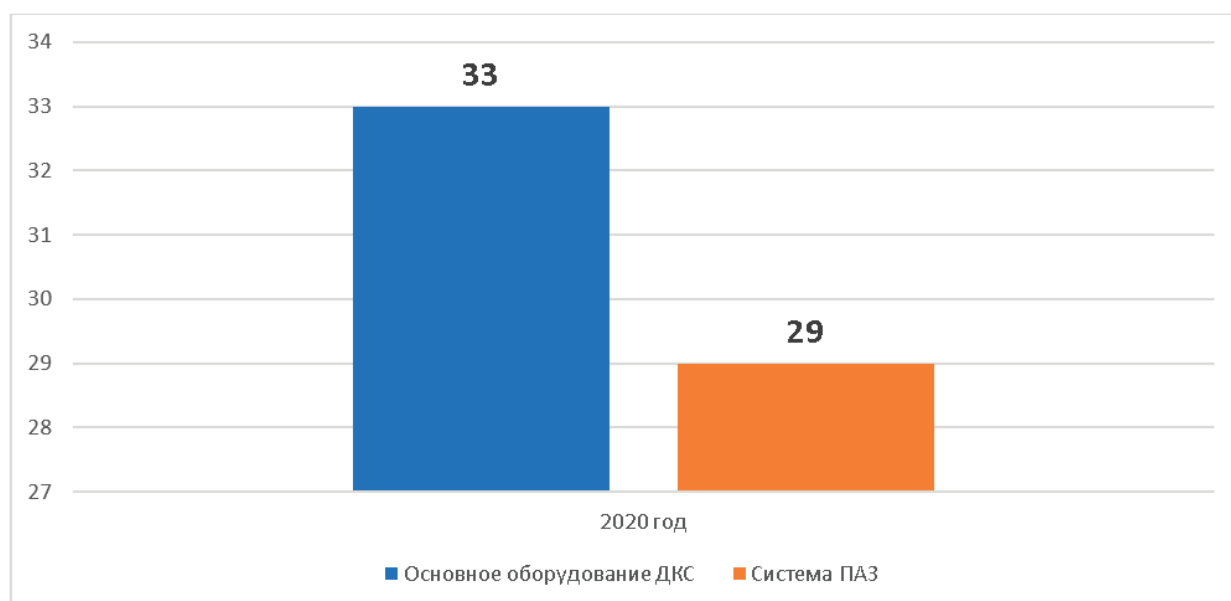


Рис. 2. Количество неисправностей всего оборудования ДКС за 2020 год

Литература:

1. Российская Федерация. Законы. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: 116-ФЗ / Российская Федерация. Законы. — Текст: электронный // Электронный Фонд правовых и нормативно-технических документов. — 2023. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/9046058>.
2. Технологический регламент УКИП: б/н / Российская Федерация. Техническая документация ООО — Новый Уренгой: ООО «...», 2019. — 273 с.
3. Годовой отчет о проверке систем ПАЗ на ДКС — Новый Уренгой: ООО «...», 2020. — 31 с.

## Расчет коэффициентов роста динамики неисправностей на примере оборудования дожимной компрессорной станции

Томус Ирина Юрьевна, кандидат медицинских наук, доцент;  
Ефремова Алина Геннадьевна, студент магистратуры  
Тюменский индустриальный университет

В статье проведен расчет коэффициентов роста динамики неисправностей на примере оборудования дожимной компрессорной станции.

**Ключевые слова:** ДКС, ГПА, неисправности оборудования, коэффициенты динамики.

Рассмотрим виды неисправностей оборудования ДКС в таблице 1.

Таблица 1. Виды неисправностей оборудования ДКС

Неисправность	Причина
Основное оборудование ДКС	
Пропуск газа во фланцевых соединениях АВО газа	Ослабло крепление фланцевого соединения
Снижается давление на всасе нагнетателя ниже допустимого	Загидрачивание конфузора, образование гидратов в цехе осушки газа, в шлейфах, подводящих коллекторах.
Повысился перепад давления на АВО газа.	Загидрачивание трубок. Повысился расход газа.

Таблица 1 (продолжение)

Неисправность	Причина
Высокая или низкая температура газа после АВО	Загидрачивание трубок. Недостаточное количество работающих секций АВО вентиляторов.
Чрезмерная вибрация вентилятора АВО	Неправильная балансировка вентилятора или разные углы установки лопастей. Ослабление фундаментных блоков привода. Неравномерный зазор между лопастями и диффузором.
Помпажный режим двигателя	Повышение сопротивления всасывающего тракта в связи с обледенением. Несоответствие параметров двигателя. Неустойчивое давление топливного газа.
Помпажный режим нагнетателя	Работа нагнетателя при пониженных расходах из-за: изменения расхода газа; роста сопротивления на входе; самопроизвольной перестановки кранов; рост сопротивления на выходе
Температура воздуха в отсеках ГПА ниже допустимой	Не подается горячий воздух в отсеки ГПА. Не работает отопление.
Снижение разрежения во всасывающей камере	Не отрегулированы байпасные клапаны. Обмерзли воздухоочистительные элементы.
Загазованность отсеков и помещений	Утечки газа
Нарушение режимных (параметрических) показателей, уставок отдельных узлов и механизмов технологического оборудования	Изменение технологического режима. Несоблюдение требований заводских инструкций по эксплуатации
Система противоаварийной защиты	
Неисправность аварийной сигнализации	поломки кабеля, выход из строя газоанализаторов
Несрабатывание системы аварийной вентиляции	отсутствие сигнала от системы контроля загазованности
Неисправности ГПА	
Негерметичность систем маслообеспечения, топливного и пускового газов, подогрева циклового воздуха и выхлопа.	Ослаблено крепление стыка. Нарушение герметичности прокладки
Нарушение целостности элементов заземления электрооборудования	Механическое воздействие. Ослабление или отсутствие крепежа.
Нарушение тональности работы вентиляторов. Повышенная вибрация.	Налипание грязи на лопасти рабочих колес. Нарушение целостности рабочих колес. Отсутствие смазки в подшипниках электродвигателя. Разрушение подшипников электродвигателя.
Нарушение целостности уплотнительных прокладок дверей отсеков.	Механические воздействия
Нарушение целостности гибких вставок систем вентиляции.	Механические, температурные, климатические воздействия.
Негерметичность стыков створок ворот камеры всасывания.	Повреждение уплотнительных прокладок или их усадка в процессе эксплуатации ГПА
Противообледенительная система ГПА	
Несрабатывание обогрева	Поломка, неисправность кабелей, обледенение датчиков

На диаграмме рисунка 1 представим динамику общего количества неисправностей, за изученный период.

Мной проводилось исследование по неисправностям в цехе осушки газа и проводился расчет коэффициентов динамики неисправностей, о чем указано в статье «Статистика неисправностей в цехе осушки природного газа», аналогичным образом произведем расчеты по неисправностям оборудования ДКС за период с 2020 по 2022 год.

Произведём расчет коэффициента роста динамики по формуле:

$$K_p = \frac{Дн. п. - Дп. п.}{Дп. п.} \times 100\%, \quad (1.1)$$

где Дп.п. — данные количества неисправностей оборудования за прошлый период, случай;

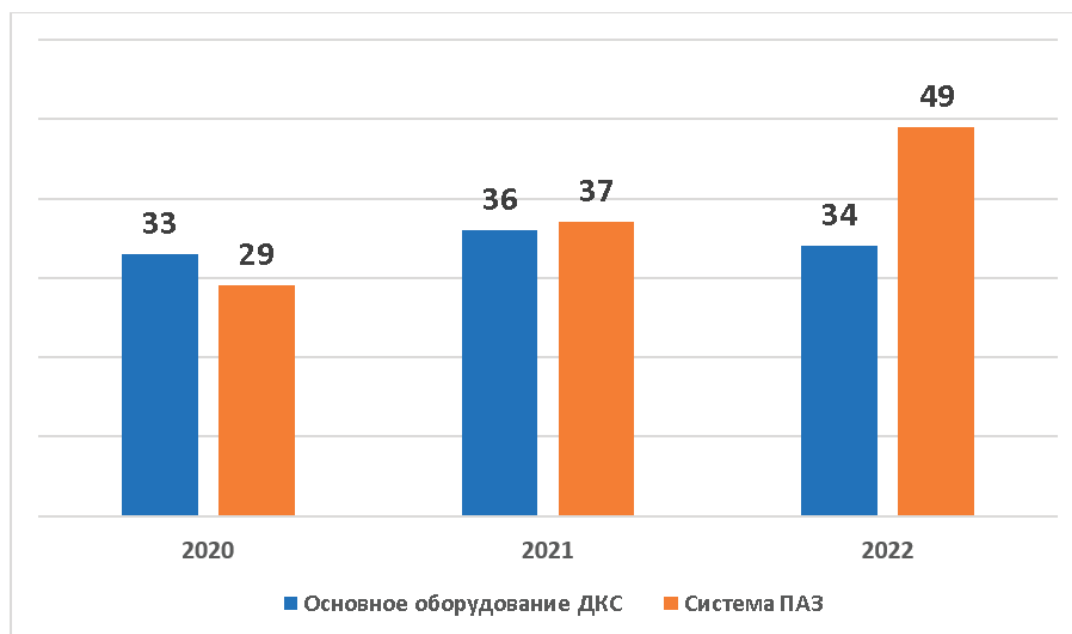


Рис. 1. Динамика общего количества неисправностей ДКС [1–6]

Дн.п. — данные количества неисправностей оборудования за настоящий период, случай.

Далее полученные значения сравниваются с данными таблицы 2.

Таблица 2. Методика оценки

Значение коэффициента роста динамики, %	Меры
менее 0%	Динамика положительная, мероприятия не требуются
от 0,01 до 100%	Динамика отрицательная, проводится усиление контроля, применение новых мероприятий по улучшению динамики
более 100%	Динамика отрицательная, производится вмешательство в технологических процесс и поиск управленческих решений

Расчет производим по двум периодам и по двум показателям:

— период движения динамики с 2020 по 2021 год —  $Kp1_{об ДКС}$  — по количеству неисправностей основного оборудования ДКС и  $Kp1_{об ПАЗ}$  — по количеству неисправностей оборудования ПАЗ;

— период движения динамики с 2021 по 2022 год —  $Kp2_{об ДКС}$  — по количеству неисправностей основного оборудования ДКС и  $Kp2_{об ПАЗ}$  — по количеству неисправностей оборудования ПАЗ.

1) по количеству неисправностей основного оборудования ДКС за период с 2020 по 2021 год:

$$Kp1_{об ДКС} = \frac{36 - 33}{33} \times 100\% = 9,09\%$$

2) по количеству неисправностей основного оборудования ДКС за период с 2021 по 2022 год:

$$Kp2_{об ДКС} = \frac{34 - 36}{36} \times 100\% = -5,88\%$$

3) по количеству неисправностей оборудования ПАЗ за период с 2020 по 2021 год:

$$Kp1_{об ПАЗ} = \frac{37 - 29}{29} \times 100\% = 27,58\%$$

4) по количеству неисправностей оборудования ПАЗ за период с 2021 по 2022 год:

$$Kp2_{об ПАЗ} = \frac{49 - 37}{37} \times 100\% = 32,43\%$$

Во всех случаях расчета за второй период — динамика количества неисправностей отрицательная, необходимо проводить усиление контроля и применять новые мероприятия, для избежание еще большего роста неисправностей.

#### Литература:

1. Российская Федерация. Годовой отчет проверки системы ПАЗ 2020. НГКМ. — Новый Уренгой: ООО «...», 2021. — 43 с. — Текст: непосредственный.
2. Российская Федерация. Годовой отчет проверки системы ПАЗ 2021. НГКМ. — Новый Уренгой: ООО «...», 2022. — 47 с. — Текст: непосредственный.
3. Российская Федерация. Годовой отчет проверки системы ПАЗ 2022. НГКМ. — Новый Уренгой: ООО «Газпром добыча Уренгой», 2023. — 40 с. — Текст: непосредственный.
4. Российская Федерация. Отчет о неисправностях оборудования в ДКС за 2020 год. НГКМ. — Новый Уренгой: ООО «Газпром добыча Уренгой», 2021. — 61 с. — Текст: непосредственный.
5. Российская Федерация. Отчет о неисправностях оборудования в ДКС за 2021 год. НГКМ. — Новый Уренгой: ООО «...», 2022. — 54 с. — Текст: непосредственный.
6. Российская Федерация. Отчет о неисправностях оборудования в ДКС за 2022 год. НГКМ. — Новый Уренгой: ООО «...», 2023. — 63 с. — Текст: непосредственный.

## Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности колонны дезанизатора

Шейко Оксана Олеговна, студент магистратуры

Научный руководитель: Сивков Юрий Викторович, кандидат биологических наук, доцент

Тюменский индустриальный университет

*В статье рассматриваются основные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности колонны дезанизатора.*

**Ключевые слова:** *пожарная безопасность, колонна дезанизатора, кольца водяного орошения.*

В газовой промышленности технологические процессы на объектах связаны с добычей, подготовкой, транспортировкой и переработкой взрывопожароопасного углеводородного сырья, вследствие чего объекты, в соответствии с действующим законодательством, относятся к разряду взрывопожароопасных.

К таким объектам относятся:

- эксплуатационные скважины на месторождениях;
- установки подготовки газа на газовых промыслах;
- дожимные компрессорные станции газовых промыслов;
- компрессорные станции магистральных трубопроводов и подземных хранилищ газа;
- газораспределительные и газоизмерительные станции;
- автомобильные газонаполнительные компрессорные станции;
- технологические установки и аппараты на объектах переработки газа;
- газопроводы;
- продуктопроводы;
- внутрипромысловые трубопроводы;
- технологические трубопроводы.

Следует отметить, что основной причиной аварий на газовых объектах является коррозионное растрескивание металла труб под напряжением и проведение несогласованных земляных работ в районах расположения трубопроводов.

Рассмотрим мероприятия пожарной безопасности колонны дезанизатора.

Одним из основных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности колонны дезанизатора — является оптимально-функционирующая система водяного орошения.

Для предотвращения колонного оборудования от перегрева в случае возникновения пожара на заводе по подготовке конденсата к транспорту предусмотрена подача воды на кольца орошения колонн, выполненных из трубопроводов Ду50. Подача воды на кольца орошения колонн производится по сухотрубам Ду 150 открытием соответствующих задвижек [1].

На рисунке 1 приведена принципиальная схема колец водяного орошения.

Пожаротушение площадки блока подготовки газа дезанизации предусматривается первичными средствами пожаротушения и передвижной пожарной техникой, расположенной на территории пожарного депо вблизи от завода [1].

Далее рассмотрим еще одну важную составляющую особенность мероприятий по пожарной безопасности колонны дезанизатора — автоматическая система контроля загазованности воздушной среды рабочей зоны, рассмотрим принцип ее работы на заводе.

При получении сигнала от датчиков загазованности в узле учета нестабильного конденсата предусмотрена сигнализация при первом и втором пороге загазованности.

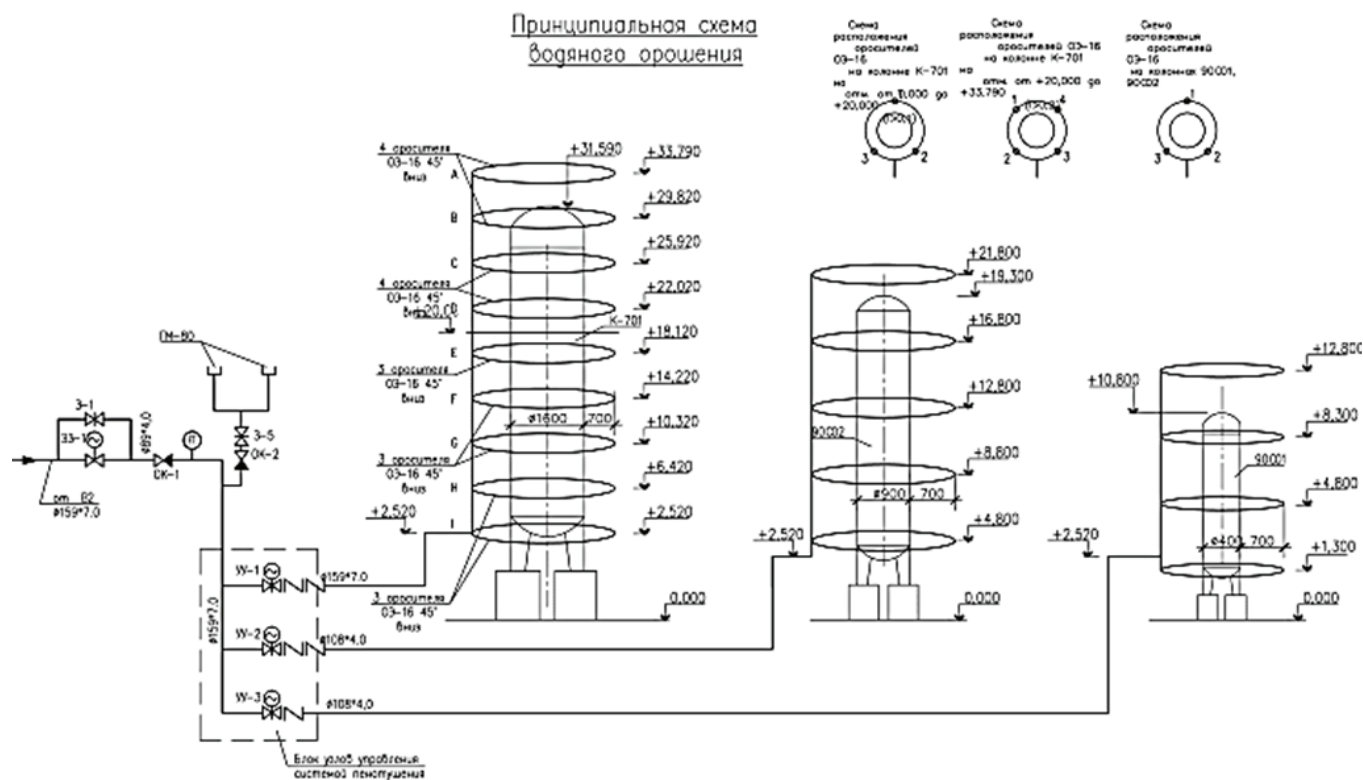


Рис. 1. Принципиальная схема колец водяного орошения

При получении на установке подготовки сырья сигнала о загазованности (первый порог) от датчиков предусмотрена сигнализация. При получении сигнала о пожаре или втором порог загазованности на площадке сепараторов предусмотрено:

- закрытие клапана-отсекателя, установленного на линии ввода сырья на установку подготовки сырья;
- закрытие клапанов-отсекателей, установленного на линии вывода конденсата из блока подготовки сырья в резервуарный парк нестабильного конденсат;

— закрытие клапанов-отсекателя, установленного на линии вывода конденсата из блока подготовки сырья на всас насоса.

При получении сигнала о пожаре или о втором порог загазованности на площадке резервуарного парка предусмотрена блокировка — закрытие клапанов-отсекателей на линиях ввода и вывода сырья в парк, соответственно.

Практика показывает [2], перечисленные мероприятия, при оптимальном функционировании, как правило защищают от возгорания, но необходимо, рассматривать дополнительные средства по обеспечению пожарной безопасности.

#### Литература:

1. Российская Федерация. Техническая документация ООО «...». Временный пусковой технологический регламент: — Санкт-Петербург, ООО «...», 2020–196 с.; 29 см.— Текст: непосредственный.
2. Российская Федерация. Отчет руководителя группы АКП Отчет о результатах анализа коренных причин происшествия: — Новый Уренгой, ООО «...», 2021–45 с.; 29 см.— Текст: непосредственный.

## Взрывопреупреждение и пожаровзрывозащита технологического процесса стабилизации газового конденсата

Шейко Оксана Олеговна, студент магистратуры

Научный руководитель: Сивков Юрий Викторович, кандидат биологических наук, доцент

Тюменский индустриальный университет

В статье рассматриваются основные мероприятия по взрывопреупреждению и пожаровзрывозащите технологического процесса стабилизации газового конденсата.

**Ключевые слова:** стабилизация газового конденсата, пожарная безопасность, взрывопредупреждение, пожаровзрывозащита.

Технология стабилизации газового конденсата, обусловлена наличием пожароопасных и взрывоопасных веществ, изучение материала [1], позволяет сделать вывод о том, что на таких опасных производственных объектах — пожарная и промышленная безопасность тесно взаимосвязаны, потому что причинами возгорания и развития пожара могут быть:

- неисправность оборудования;
- изменение технологических параметров используемого сырья (давление, скорость движения, температура);
- неудовлетворительное состояние герметичности оборудования и трубопровода;
- отсутствие или неисправность автоматической системы пожаротушения;
- ошибки в работе системы противоаварийной защиты;
- халатность персонала при обслуживании основных и вспомогательных систем установок стабилизации газового конденсата.

Пожары на таких объектах сопровождаются взрывами, существует высокая опасность для персонала, характеризуются миллиардными ущербами, поэтому очень важно применять мероприятия по взрыву предупреждению и пожаровзрывозащите объекта.

Взрывопредупреждение – представляет собой комплекс организационных и технических мер, которые предотвращают возможность возникновения взрывов [2].

Так как необходимым и достаточным условием возникновения взрыва является наличие взрывоопасной газовоздушной (смеси с содержанием горючего в пределах области воспламенения) и источника инициирования взрыва (источника зажигания смеси достаточной мощности и температуры), то для предотвращения взрыва необходимо исключить эти условия или хотя бы одно из них.

К мероприятиям по взрывопредупреждению относятся — рисунок 1.

Соблюдение данных мероприятий, а также поиск новых технологических решений обеспечит взрывобезопасность на объекте.

Для обеспечения защиты людей и материальных ценностей при возникновении взрыва должны быть предусмотрены меры, предотвращающие воздействие следующих опасных факторов взрыва:

- пламени и высокотемпературных продуктов горения;
- давления взрыва;
- высокоскоростных газовоздушных потоков;
- ударных волн;
- обрушившихся конструкций зданий и сооружений и разлетающихся элементов строительных конструкций, производственного оборудования и коммуникаций.

Для обеспечения защиты людей и материальных ценностей при возникновении взрыва должны быть предусмотрены мероприятия по пожаровзрывозащите (рисунок 2).

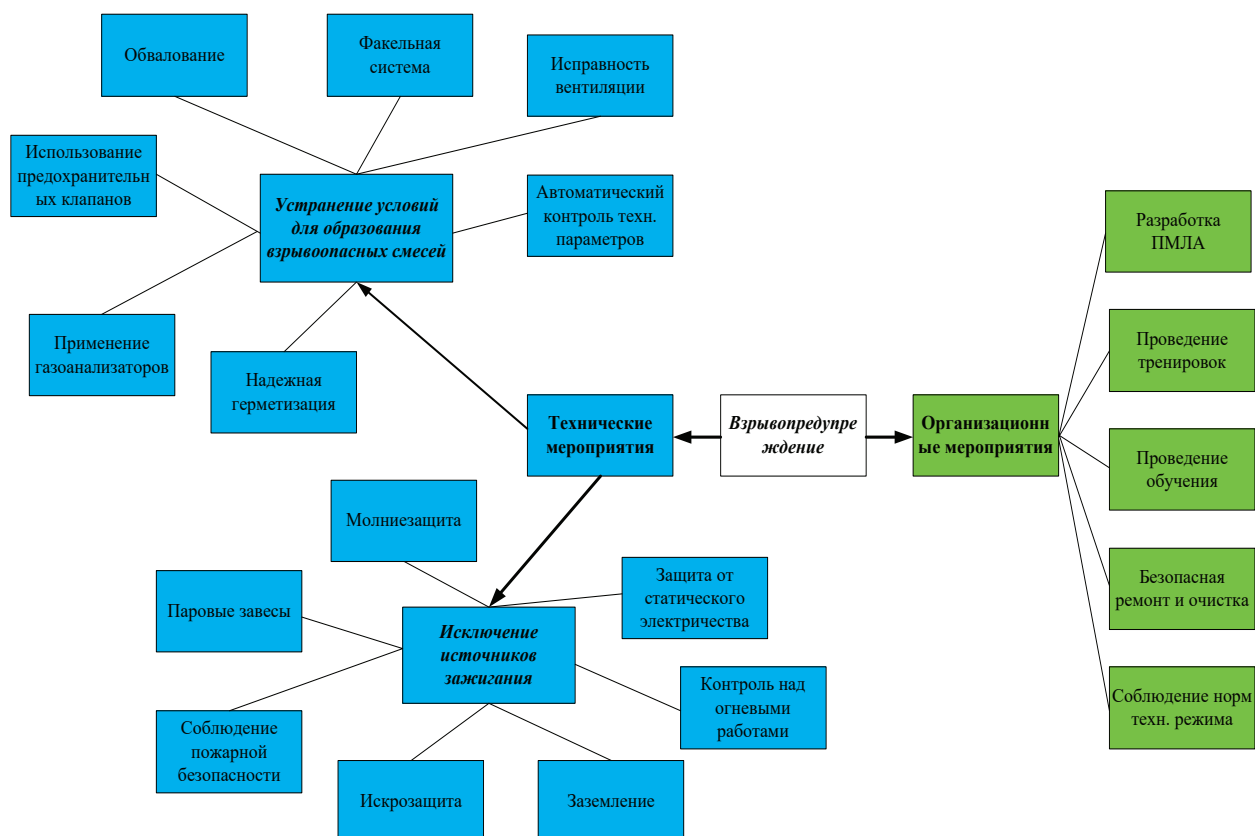


Рис. 1. Мероприятия по взрывопредупреждению

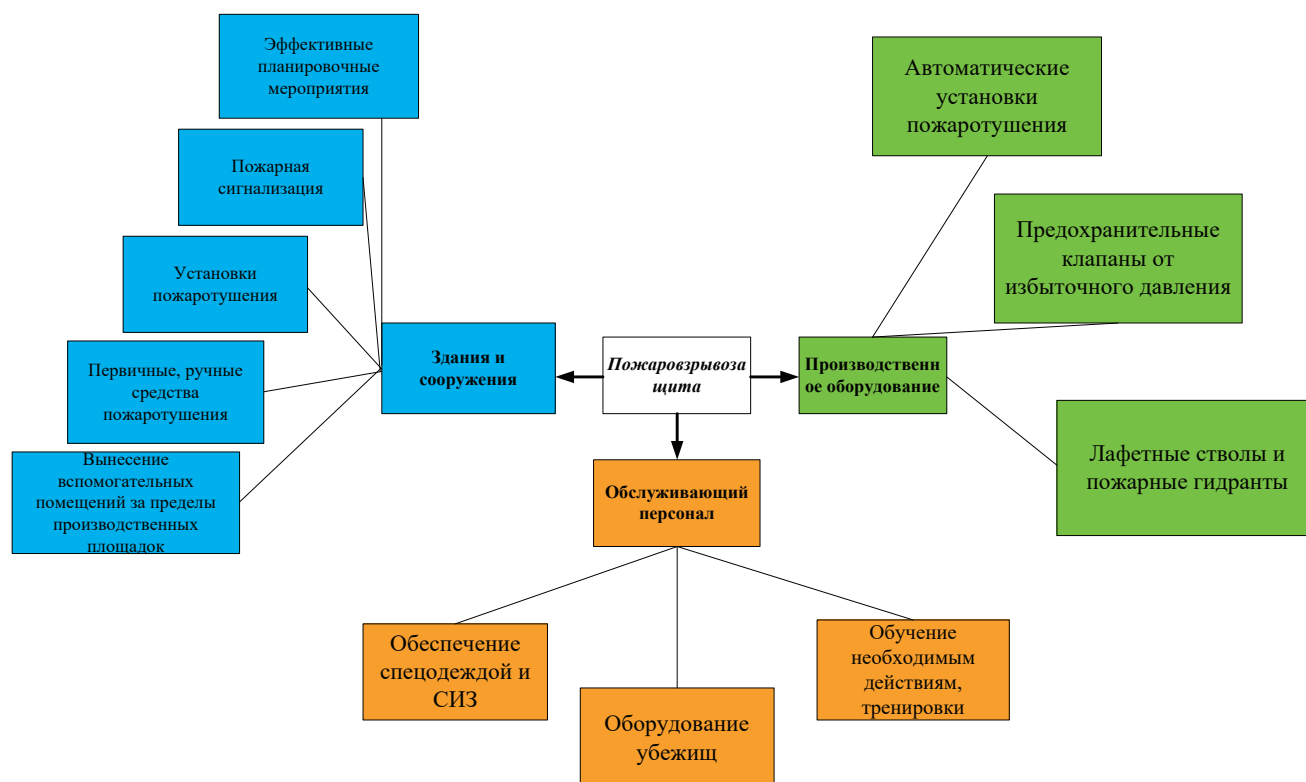


Рис. 2. Мероприятия по пожаровзрывозащите

#### Литература:

1. Российская Федерация. Отчет руководителя группы АКП Отчет о результатах анализа коренных причин происшествия: — Новый Уренгой, ООО «...», 2021–45 с.; 29 см.— Текст: непосредственный.
2. Бакаленко, А. С. Обеспечение безопасности процесса переработки газового конденсата / А. С. Бакаленко, О. В. Шингаркина.— Текст: непосредственный // Техника. Технологии. Инженерия.— 2019.— № 1 (11).— С. 31–37.— URL: <https://moluch.ru/th/8/archive/110/3655/> (дата обращения: 19.06.2022).

## Система автоматического контроля неисправностей трубчатых печей П-101

Шейко Александр Сергеевич, студент магистратуры

Научный руководитель: Сивков Юрий Викторович, кандидат биологических наук, доцент  
Тюменский индустриальный университет

В статье рассматривается система автоматического контроля неисправностей трубчатых печей П-101, которые могут привести к возникновению пожара.

**Ключевые слова:** трубчатая печь, неисправности, прогар змеевика, паротушение.

Печь П-101 представляет собой цилиндрическую печь с вертикальным расположением труб продуктового змеевика в камере радиации, верхним отводом дымовых газов и свободным вертикально-факельным сжиганием топлива.

Расход горячей струи в  $80 \text{ м}^3$  в каждый поток печи П-101 регулируется контурами с помощью клапанов, установленные перед теплообменниками. Предусмотрена световая и звуковая световая и звуковая сигнализация на АРМ оператора при до-

стижении суммарного расхода на входе в теплообменник  $80 \text{ м}^3/\text{час}$  [1].

При достижении суммарного расхода горячей струи на входе в Т 105/1,264  $\text{м}^3/\text{час}$  и суммарного расхода горячей струи на входе в Т 106/1,264  $\text{м}^3/\text{час}$  предусмотрена блокировка по сигналу от приборов 100FIRSALL322 1,2, закрывающая клапаны отсекающие на трубопроводе топливного газа к основным горелкам печи П-101, закрывающая клапаны-отсекатели на тру-

бопроводе топливного газа к пилотным горелкам печи П-101, открывающая клапаны-отсекатели на трубопроводе топливного газа на свечу.

Для исключения повышения давления выше максимального значения перед основными горелками на линии топливного газа предусмотрен предохранительный запорный клапан (ПЗК).

Давление на линии ввода деэтанализуемого конденсата (не более 3,22 МПа) в конвекционные змеевики печи П-101 контролируется приборами 100PIR263, температура – приборами 100TIR137.

Для контроля температуры наружной поверхности стенки змеевика печи предусмотрены приборы 100TIR1021/A-B.

Температура подогретого деэтанализованного конденсата на выходе каждого потока из печи замеряется приборами, с сигнализацией максимального значения (245°C), давление (не менее 3,71 МПа и не более 3,73 МПа) – приборами 100PIRAL253, с предупредительной сигнализацией минимального значения 2,6 МПа [1].

Температуры дымовых газов на выходе из камеры радиации («на перевале») замеряется прибором 100TIRAH1202 (200TIRAH1202) с сигнализацией максимального значения 800°C.

Полнота сгорания топливного газа в печи, а также его экологические показатели контролируются автоматическими газоанализаторами, которые размещаются на выходе из камеры радиации:

- анализатором содержания CO, O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO 100AIRAHL509-1 (200AIRAHL509-1) с предупредительной сигнализацией максимального значения CO (0,003% об.) и минимального значения O<sub>2</sub> (0,5% об.);

- анализатором содержания O<sub>2</sub> 100AIRSAHLLL508 (200AIRSAHLLL508) с предупредительной сигнализацией ми-

нимального значения (0,5% об.) и максимального значения (6% об.) и блокировкой по минимальному значению (0,1% об.).

Температура дымовых газов на выходе из печи 240°C контролируется прибором 100TIR161 (200TIR161), давление (-55 Па) – прибором 100PIR2158 (200PIR2158).

Давление дымовых газов перед шибером (-58 Па) замеряется прибором 100PIR10331 (200PIR10331), после (-65 Па) – прибором 100PIR2159 (200PIR2159) [1].

При разгерметизации (прогаре) змеевика печи П-101 продукт поступает в топочное пространство печи и возгорается.

Рассмотрим признаки прогара змеевика печи [2]:

- снижение давления ниже 2,5 МПа в трубопроводе выхода продукта;

- понижение содержания кислорода в дымовых газах на выходе из камеры радиации ниже 0,1% по сигналу от прибора 100AIRSAHLLL508;

- повышение температуры дымовых газов на выходе из камеры радиации выше 850°C по сигналу от 1-го из 2-х приборов 100TIRSAHHN1201-1.

При получении сигнала от любых двух из трех параметров предусмотрена блокировка по прогару змеевика:

- закрываются клапаны-отсекатели на линии подачи топливного газа к пилотным и основным горелкам печи П-101;

- отключаются насосы подачи сырья в печь;

- открываются клапаны-отсекатели, установленные линии подачи пара в змеевик и клапан-отсекатель 100ПО 135 (200ПО 135), установленный на линии подачи пара в топочное пространство печи; при этом арматура на линиях подачи пара должна быть открыта;

- закрывается шибер на дымовой трубе печи;

- открываются клапаны-отсекатели на линии сброса топливного газа на свечу;

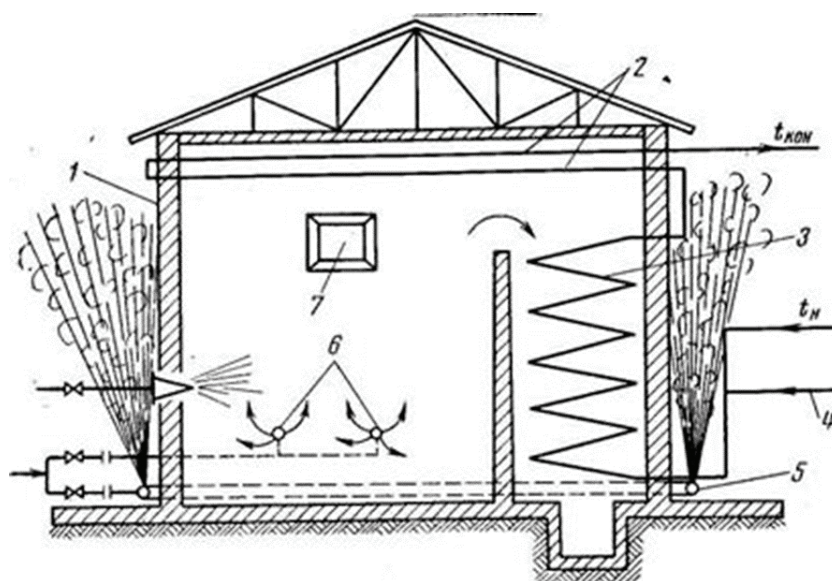


Рис. 1. Схема трубчатой печи с трубопроводами для паротушения и паровой завесы [3]:

- 1 — корпус печи; 2 — радиантные трубы; 3 — конвекционные трубы;  
4 — линия подачи водяного пара в змеевик (против окислов); 5 — перфорированный трубопровод;  
6 — система паротушения; 7 — предохранительный клапан шарнирно-откидного типа

— закрываются клапаны-отсекатели на линии топливного газа к каждой основной горелке и клапаны-отсекатели на линии топливного газа к каждой пилотной горелке;

— отключается насос и закрывается отсекатель на линии нагнетания;

— отключается насос Н-102/1,2 (Н-202/1,2) и закрывается отсекатель на линии нагнетания 100ПО-128 (200ПО-128).

Прогар змеевика в печах типа П-101 — самая распространённая причина пожара, на такой случай, на объектах переработки газового конденсата предусматривается система парового тушения или паровая завеса.

Изучение Инструкции по проектированию паровой защиты технологических печей на предприятиях нефтеперерабатыва-

ющей и нефтехимической промышленности [3], позволило выяснить, что «Паровая защита технологических печей (рис. 1) предусматривает:

— наружную паровую завесу для предотвращения проникновения к печам облака горючей парогазовоздушной смеси при аварии на соседней технологической установке;

— систему внутреннего пожаротушения для локализации и ликвидации пожара непосредственно в камере печи; наличие специальных устройств для продувки камер печи от горючих газов и паров перед розжигом и после остановки;

— эвакуацию продукта из змеевика;

— систему наружного паротушения с использованием переносных шлангов».

#### Литература:

1. Российская Федерация. Техническая документация ООО «...». Технический регламент на УСК № ТР-6400-2020: — том № 1 — Санкт-Петербург, ООО «...», 2020–196 с.; 29 см. — Текст: непосредственный.
2. Шейко А. С. Научно-исследовательская работа. — Тюмень: ФГБОУ ВО ТИУ — 2023. — 27 с. — Текст непосредственный.
3. Инструкция по проектированию паровой защиты технологических печей на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. — Москва: Министерство нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР — 1976. — 25 с. — Текст электронный.

## Требования пожарной безопасности к объектам переработки газового конденсата

Шейко Александр Сергеевич, студент магистратуры

Научный руководитель: Сивков Юрий Викторович, кандидат биологических наук, доцент

Тюменский индустриальный университет

*В статье рассматриваются концепции организации комплексов мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объектов переработки газового конденсата.*

**Ключевые слова:** законодательные нормативные акты, пожарная безопасность, объекты переработки газового конденсата, средства пожаротушения.

Обеспечение пожарной безопасности объектов переработки газового конденсата должна основываться на комплексах мероприятий, которые направлены на обеспечение безопасности людей при пожаре.

Приведем законодательные нормативные акты, на основе которых разрабатываются внутренние локальные акты объектов по обеспечению пожарной безопасности:

— Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [1];

— Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2];

— ГОСТ 12.1.004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования [3];

— ГОСТ Р 12.3.047 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [4].

Объекты переработки газового конденсата, обеспечивают пожарную безопасность через оптимальное функционирование системы предотвращения возгорания, системой противопо-

жарной защиты, а также комплексом организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Руководство, рассматриваемых объектов, на начальных этапах ввода объекта в эксплуатацию, разрабатывает генеральный план, в который входят следующие основные принципы:

— обеспечения пожаробезопасных условий проведения производственного процесса;

— обеспечения возможности безопасной эвакуации людей из зданий и сооружений и с территории объекта обустройства нефтяных и газовых месторождений при возникновении пожара и/или пожароопасной аварии;

— обеспечение ответственного исполнения мероприятий по взрывопожаробезопасности;

— осуществление ответственного контроля над технологическими процессами и состоянием противопожарного оборудования и систем.

Объекты по переработке газа и газового конденсата должны размещаться на расстоянии не ближе 200 м от берегов рек, при-

станей, речных вокзалов, мест постоянной стоянки флота, гидроэлектростанций, судостроительных и судоремонтных заводов, мостов и водозаборов при расположении их ниже по течению, если от перечисленных сооружений действующими для их проектирования нормативными документами не требуется большего расстояния [5].

При расположении объектов по переработке газа и газового конденсата выше по течению реки перечисленных сооружений они должны размещаться от последних на расстоянии не менее 3000 м. Внутриплощадочные автомобильные дороги должны быть на расстоянии не менее 5 м от зданий и сооружений. Подъезд пожарных автомобилей к технологическим установкам должен быть обеспечен со всех сторон. Подъезд пожарных автомобилей к зданиям и сооружениям внутри технологической установки не предусматривается.

Система пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре предназначена для автоматического обнаружения пожара, подачи управляющих сигналов на технические средства оповещения о пожаре и управления эвакуацией людей, на приборы управления АУП, инженерным и технологическим оборудованием.

В качестве источников противопожарного водоснабжения могут использоваться естественные и искусственные водоемы, а также внутренний и наружный водопровод (в том числе питьевой, хозяйственно-питьевой, хозяйственный, производственный, противопожарный и объединенный). Сеть объединенного водопровода должна обеспечивать расчетный расход воды с учетом хозяйственно-питьевых нужд и целей пожаротушения.

Вместо устройства подземных колодцев пожарных гидрантов на сетях разрешается применять наземные узлы, в укрытии которых размещены патрубки (наземные гидранты), выведенные наружу и оборудованные соединительными головками для подключения рукавных линий.

Пожаротушение и водяное орошение на объектах переработки газового конденсата должны обеспечивать:

- автоматические установки пожаротушения;
- стационарные установки пожаротушения и водяного орошения;
- мобильные средства пожаротушения;
- первичные средства пожаротушения.

В целях предотвращения увеличения масштаба аварии при пожаре на объекте обустройства нефтяных и газовых месторождений технологические установки, аппараты и оборудование должны быть защищены от теплового излучения установками водяного орошения (пожарными лафетными стволами, стационарными установками водяного орошения).

При изучении локальной документации объекта переработки газового конденсата, а именно Технологического Регламента установки стабилизации конденсата [6] — было выявлено, использование в блоке трубчатых, паровой системы пожаротушения, которая включается с помощью подачи электронных сигналов, и в случае перебоев с электроснабжением — данная установка может не сработать, поэтому еще одной очень важной составляющей обеспечения требований пожарной безопасности к данным объектам — является прогнозирование сценариев развития пожара и расчет всех критериев риска.

#### Литература:

1. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» — Текст: электронный // Электронный Фонд правовых и нормативно-технических документов. — 2022. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/9028718>, (дата обращения: 19.06.2022).
2. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» — Текст: электронный // Электронный Фонд правовых и нормативно-технических документов. — 2023. — <https://docs.cntd.ru/document/902111644>.
3. ГОСТ 12.1.004 Пожарная безопасность — Текст: электронный // Электронный Фонд правовых и нормативно-технических документов. — 2023. — <https://docs.cntd.ru/document/9051953>.
4. ГОСТ Р 12.3.047 Пожарная безопасность технологических процессов — Текст: электронный // Электронный Фонд правовых и нормативно-технических документов. — 2023. — <https://docs.cntd.ru/document/1200103505>.
5. Приказ МЧС России от 24.04.2013 № 288 (ред. от 15.06.2022) «Об утверждении свода правил СП 4.13130 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям». Текст: электронный // Электронный Фонд правовых и нормативно-технических документов. — 2023. — <https://docs.cntd.ru/document/499023239>.
6. Технологический регламент УСК. — Санкт-Петербург: ООО «...». — 2020. — 196 с. — Текст непосредственный.

## Особенности усовершенствования системы промышленной безопасности при эксплуатации временной мобильной установки для подготовки нефти

Широкова Динара Наилевна, кандидат биологических наук, доцент;  
Шишкина Надежда Александровна, студент магистратуры  
Тюменский индустриальный университет

*В статье рассматриваются функции и устройство МУПН, возможные аварийные ситуации и приведены мероприятия усовершенствования системы промышленной безопасности.*

**Ключевые слова:** мобильная установка подготовки нефти, аварийные ситуации, промышленная безопасность.

Временная мобильная установка для подготовки нефти (далее — МУПН) применяется на нефтяных и газовых месторождениях, которые находятся на начальной стадии разработки.

Назначение МУПН — прием продукции скважин, сепарация нефти, утилизация газа сепарации на факельной установке и на собственные нужды, отделение пластовой воды для дальнейшей закачки ее в пласт, подготовка нефти и откачка подготовленной нефти [1].

Оборудование МУПН включает в себя объекты, представленные в таблице 1.

Оценка риска заключается в определении вероятности причинения вреда персоналу и населению и ущербу имуществу и окружающей природной среде.

Для каждой аварии рассчитаем вероятность реализации различных сценариев ее развития.

Вероятности реализации различных сценариев развития аварий оценивались с помощью графоаналитического ме-

Таблица 1. Объекты МУПН

№ п/п	Наименование
1	Установка дозирования химреагента (УДХ)
2	Сепаратор нефтегазовый (НГС-1), V=50 м3
3	Сепаратор нефтегазовый (НГС-2), V=50 м3
4	Подогреватель нефти с промежуточным теплоносителем ПП-1.1 (ПБТ-1.6М)
5	Подогреватель нефти с промежуточным теплоносителем ПП-1.2 (ПБТ-1.6М)
6	Подогреватель нефти с промежуточным теплоносителем ПП-2.1 (ПБТ-1.6М)
7	Подогреватель нефти с промежуточным теплоносителем ПП-2.2 (ПБТ-1.6М)
8	Сепаратор нефтегазовый (НГСВ-1.1), V=50 м3
9	Сепаратор нефтегазовый (НГСВ-1.2), V=50 м3
10	Сепаратор нефтегазовый (НГСВ-2.1), V=50 м3
11	Сепаратор нефтегазовый (НГСВ-2.2), V=50 м3
12	Сепаратор газовый (ГС-1) 0,8 м3
13	Сепаратор газовый (ГС-2), V=12.5 м3
14	Отстойник нефти (ОН-1.1), V=50 м3
15	Отстойник нефти (ОН-1.2), V=50 м3
16	Отстойник нефти (ОН-2.1), V=50 м3
17	Отстойник нефти (ОН-2.2), V=50 м3
18	Отстойник воды (ОВ-1), V=50 м3
19	Отстойник воды (ОВ-2), V=50 м3
20	Буферная емкость (БЕ), V=50 м3
21	Дренажная ёмкость (ДЕ-1), V=50 м3
22	Дренажная ёмкость (ДЕ-2), V=50 м3
23	Насосная внешнего транспорта нефти (НВТ) — выведена из эксплуатации
24	Насосная пластовой воды (НПВ)
25	Горизонтальная факельная установка (ГФУ)
26	Операторная
27	Блок контроля качества (БКК)
28	Блок-бокс НКУ
29	Резервуар вертикальный стальной (РВС-10000)
30	Резервуар вертикальный стальной (РВС-10000)
31	Дизель электростанция (ДЭС)

тогда «дерева событий». Частота возникновения исходных событий определялись, в основном, на основании статистических данных по отказам аналогичного оборудования и аппаратов. При отсутствии необходимой статистики частота реализации исходного события рассчитывалась с помощью графоаналитического метода «дерева отказов» с учетом имеющихся справочных данных по частотам элементарных отказов [1].

Исходной для оценки риска аварий на нефтесборных трубопроводах является среднестатистическая частота аварий, значение которой, исходя из статистических данных РОСТЕХНАДЗОРА, принято равным  $2,3 \cdot 10^{-4}$  /год/км (за последние 5 лет).

При этом доля разгерметизации с характерными размерами повреждений составляет:

- для прокола — 0,9;
- для порыва трубопровода — до 0,1.

При эксплуатации мобильной установки подготовки нефти могут возникнуть следующие опасные факторы:

- наличие легковоспламеняющихся жидкостей, паров и газов, способность паров и газов образовывать с воздухом взрывоопасные смеси;
- коррозия трубопроводов, арматуры, оборудования;
- способность нефти образовывать самовоспламеняющиеся на воздухе пирофорные соединения;
- способность нефти образовывать при движении по трубопроводам статическое электричество;
- вредное воздействие нефти на кожу человека, а паров и газов на органы дыхания;
- наличие избыточного давления в сепарационных аппаратах и насосном оборудовании;
- наличие опасного высокого напряжения электрического тока в электродвигателях насосов, статического электричества;
- наличие вращающихся и движущихся частей оборудования и механизмов и др.

Наиболее вероятными авариями на МУПН являются аварии, связанные с разгерметизацией единицы технологического оборудования резервуара (трубопровода) и истечением жидкой фазы смеси ЛВЖ [2].

#### Литература:

1. Технологический регламент «Временная мобильная установка подготовки нефти (МУПН) в режиме комплексного опробования» № П1-01.05 ТР-4490 ЮЛ-416. — Тюмень, 2021. — 156 с.
2. Декларация промышленной безопасности. «Временная мобильная установка подготовки нефти (МУПН) в режиме комплексного опробования». — Тюмень, 2021. — 280 с.

Внедрение современных систем управления промышленной безопасности позволяет создать благоприятные условия, как для снижения риска аварий на опасных производственных объектах до уровня приемлемого на современном этапе развития общества, так и для стабильного и устойчивого развития предприятий.

В качестве усовершенствования системы промышленной безопасности на МУПН следует производить:

- инвентаризацию состояния основных объектов МУПН, с целью определения остаточного ресурса эксплуатации технологического оборудования и реализации мероприятий по замене оборудования, отработавшего срок службы;
- комплекс мероприятий по технической диагностике оборудования, отработавшего расчетный ресурс эксплуатации, с целью установления его работоспособности в период до замены на оборудование, отвечающее современным достижениям науки и техники, а также оптимизации расходов; на реконструкцию и обновление основных производственных фондов, капитальный и текущий ремонт промышленного оборудования;
- повышение уровня технологической и производственной дисциплины при эксплуатации МУПН, а также создания условий и экономических стимулов для развития и совершенствования систем управления промышленными рисками;
- совершенствование проектной документации на разработку месторождения;
- обеспечение завершения мероприятий, связанных с разработкой декларации промышленной безопасности;
- повышение уровня профессиональной подготовки рабочих основных профессий на МУПН;
- повышение эффективности мероприятий, связанных с обеспечением физической защиты и антитеррористической устойчивости МУПН;
- обеспечение необходимого уровня готовности аварийно-спасательных формирований и служб, проведения их проверок и своевременной аттестации.

## Учебный стенд по вакуумной электронике

Янкин Владислав Александрович, студент  
Пензенский государственный университет

*Представлен учебный стенд по вакуумной электронике. В его составе имеется: блок питания с максимальным выходным напряжением 100В, блок питания для питания сеток вакуумных приборов, схемы включения вакуумного диода, триода и пентода.*

**Ключевые слова:** электронная лампа, вакуумный диод, вакуумный триод, термоэлектронная эмиссия, вакуумный усилитель, вакуумная электроника, катод, анод.

Основным недостатком полупроводниковых приборов является то, что их сравнительно легко можно вывести из строя мощными электромагнитными полями. Поэтому в ответственных случаях (например, в радиосвязи на военных объектах) используют электронные лампы.

Электроракумные приборы находят незаменимое применение в спутниковых передатчиках, на кораблях и в центрах связи на Земле.

У твердотельных приборов при частотах более 100 GHz мощность начинает падать в зависимости от частоты как  $1/f^2$ , а затем как  $1/f^3$ . Для преодоления этих затруднений разработчики радиоаппаратуры используют вакуумную электронику, которая является стойкой к высокому уровню радиации. [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Поэтому данный стенд для изучения вакуумных ламп актуален для некоторых направлений подготовки студентов

Методы и практическая реализация

Целью данной работы является разработать учебный стенд по вакуумной электронике

Поскольку данный стенд является учебным, то желательно иметь относительно невысокие напряжения питания схем. Поэтому в данном стенде будет использоваться блок питания с регулируемым напряжением до 100В.

Для регуляции анодного напряжения нужен блок питания, который будет выдерживать анодный ток порядка 100мА, так как это максимальный ток самой мощной лампы 6П15П.

Для этой задачи был разработан блок питания с регулируемым напряжением от 3 до 100В и максимальным выходным током порядка 200мА.

Технические характеристики источника

Интервалы выходного напряжения, В — 3...100;

Максимальный выходной ток, мА..... 200;

Уровень ограничения выходного тока, мА..... 200;

В качестве регулирующего и стабилизирующего элемента, в блоке питания применён стабилизатор LM317. Эти стабилизаторы способны работать на высоких напряжениях, и важна только разница напряжений между входом и выходом, которая не должна превышать напряжения 40 вольт. Транзисторы IRF840 поддерживают между входом и выходом стабилизатора напряжение в диапазоне от 18 до 20 вольт), которое обеспечивается стабилитронами VD2, VD3. Для защиты от короткого замыкания на выход микросхемы LM317 включена RC цепочка (C2, R7) которая улучшает переходную характеристику и шунтирует вывод ADJ, а R3, D5 защищают вывод ADJ микросхемы во время короткого замыкания. Ток короткого замыкания ограничивает резистор R2, от него так же зависит и ток нагрузки (ток стабилизации) блока питания. Для управления выходным напряжением здесь используется R6

Схема источника питания приведена на рисунке 1.

Для снятия зависимости анодного тока от напряжения на сетке был разработан блок питания с регулируемым напряже-

нием в диапазоне от -5,1В до +5,1В. Максимальный ток на выходе данного источника напряжения составил 20мА.

В качестве питания блока питания сетки было взято переменное напряжение от трансформатора, равное 6,3В, которое используется для накала.

Диод VD1 пропускает только положительный полупериод переменного напряжения, равного 6,3 В, а VD2 пропускает только отрицательный полупериод. Для сглаживания пульсаций были установлены C1 и C2.

Для того чтобы через R1 и R2 протекали токи, равные 30мА, нужно взять резисторы с номиналами 120Ом. По 10мА забирают стабилитроны VD3 и VD4.

В результате получается регулируемый источник напряжения с низким выходным сопротивлением и с стабильным напряжением на выходе.

Схема данного устройства показана на рисунке 2.

В данный учебный стенд включает в себя схемы включения вакуумного диода, триода и пентода.

Для снятия вольт-амперной характеристики вакуумного диода необходимо устройство, которое будет изменять анодное напряжение, миллиамперметр и вольтметр с максимальным рабочим напряжением не менее 100В.

Схема данной установки показана на рисунке 3

Для снятия анодных и сеточных характеристик вакуумного триода необходимо устройство, которое будет изменять анодное напряжение, миллиамперметр и два вольтметра с максимальными рабочими напряжениями не менее 100В, а также устройство, которое будет изменять напряжение на сетке.

Схема данной установки показана на рисунке 4.

Для снятия анодных и сеточных характеристик вакуумного пентода необходимо устройство, которое будет изменять анодное напряжение, миллиамперметр и два вольтметра с максимальными рабочими напряжениями не менее 100В, а также устройство, которое будет изменять напряжение на сетке.

Схема данной установки показана на рисунке 5.

Заметим, что напряжение на электродах лампы определяется относительно катода. Напряжение на аноде всегда положительно, а на сетке может быть как положительным, так и отрицательным. Если подать на сетку достаточно большое отрицательное напряжение, то электроны не смогут преодолеть отталкивающее действие потенциала сетки, и анодного тока не будет (лампа «заперта»).

При положительном сеточном напряжении поток электронов сильно возрастает. При определённом значении напряжения на сетке  $U_c$  анодный ток достигает максимальной величины и при дальнейшем повышении напряжения остается постоянным, равным  $I_a$ .

Это явление называется насыщением, а ток  $I_n$  — током насыщения. Насыщение обусловлено тем, что все электроны, испускаемые катодом, достигают анода. При токе насыщения электронное облако вокруг катода полностью рассасывается [7, 8, 9, 10].

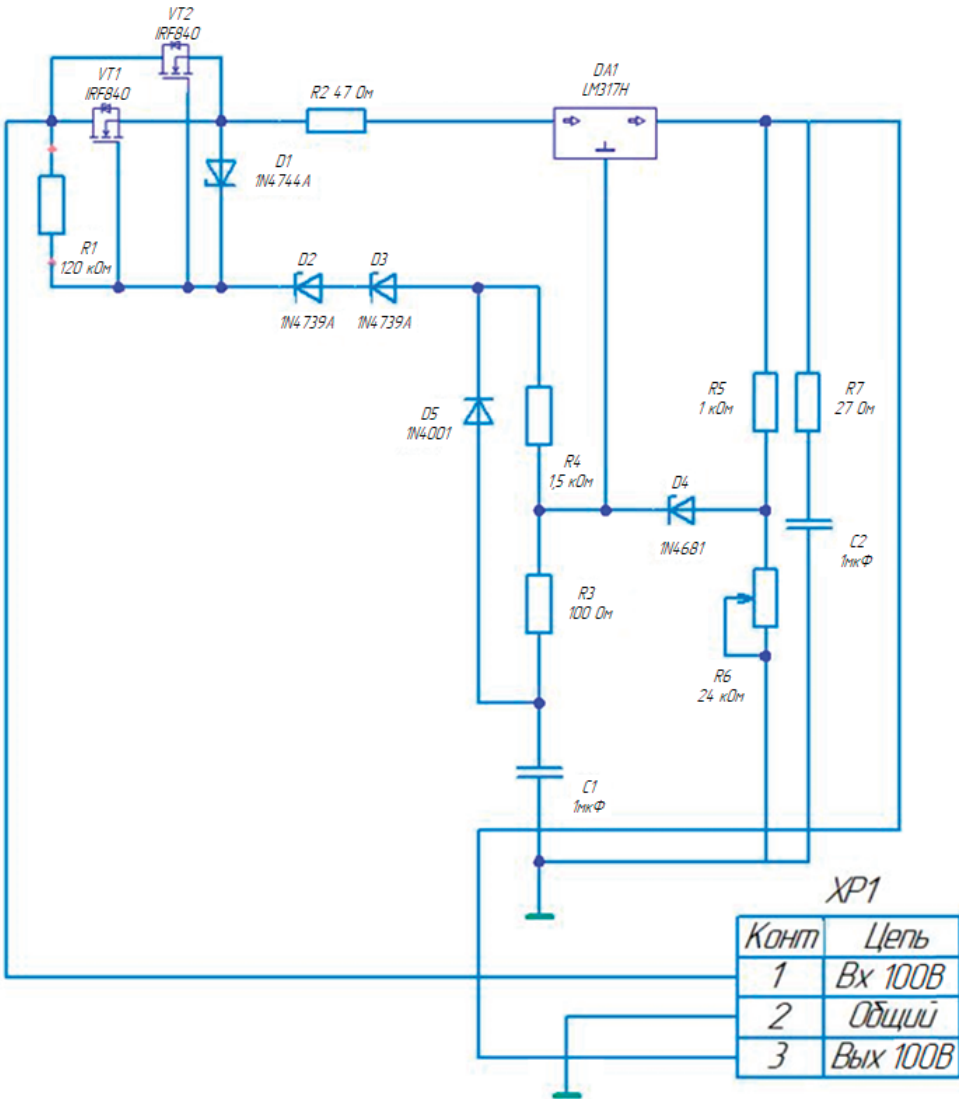


Рис. 1. Принципиальная схема блока питания

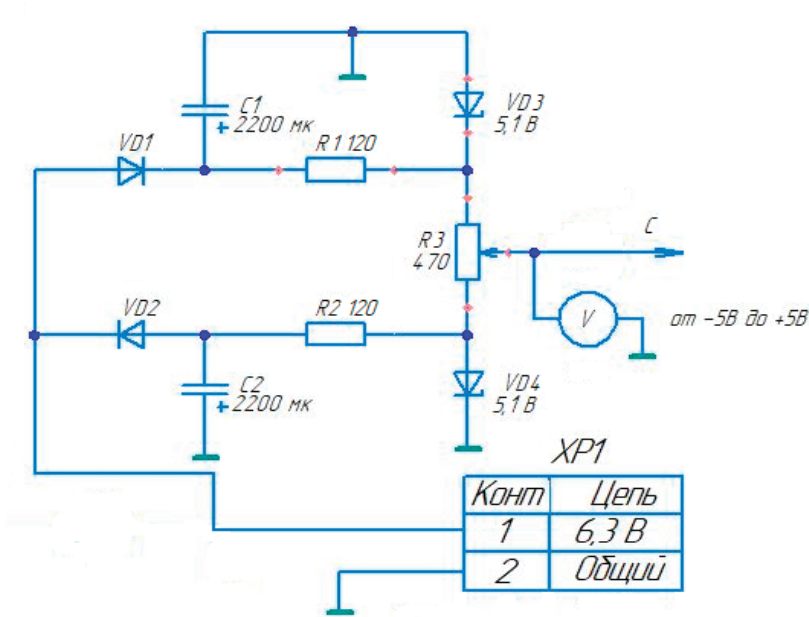


Рис. 2. Регулируемый источник напряжения сетки

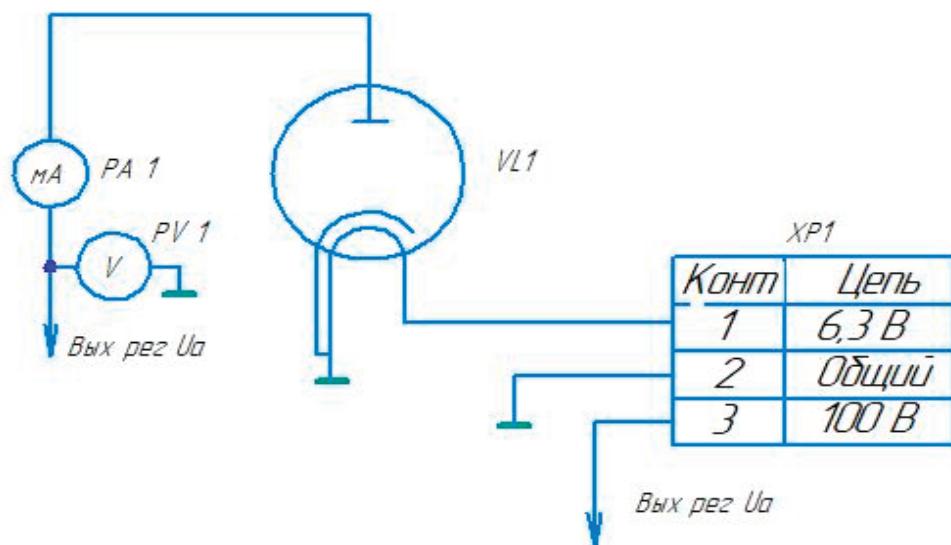


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная включения вакуумного диода 6X2П

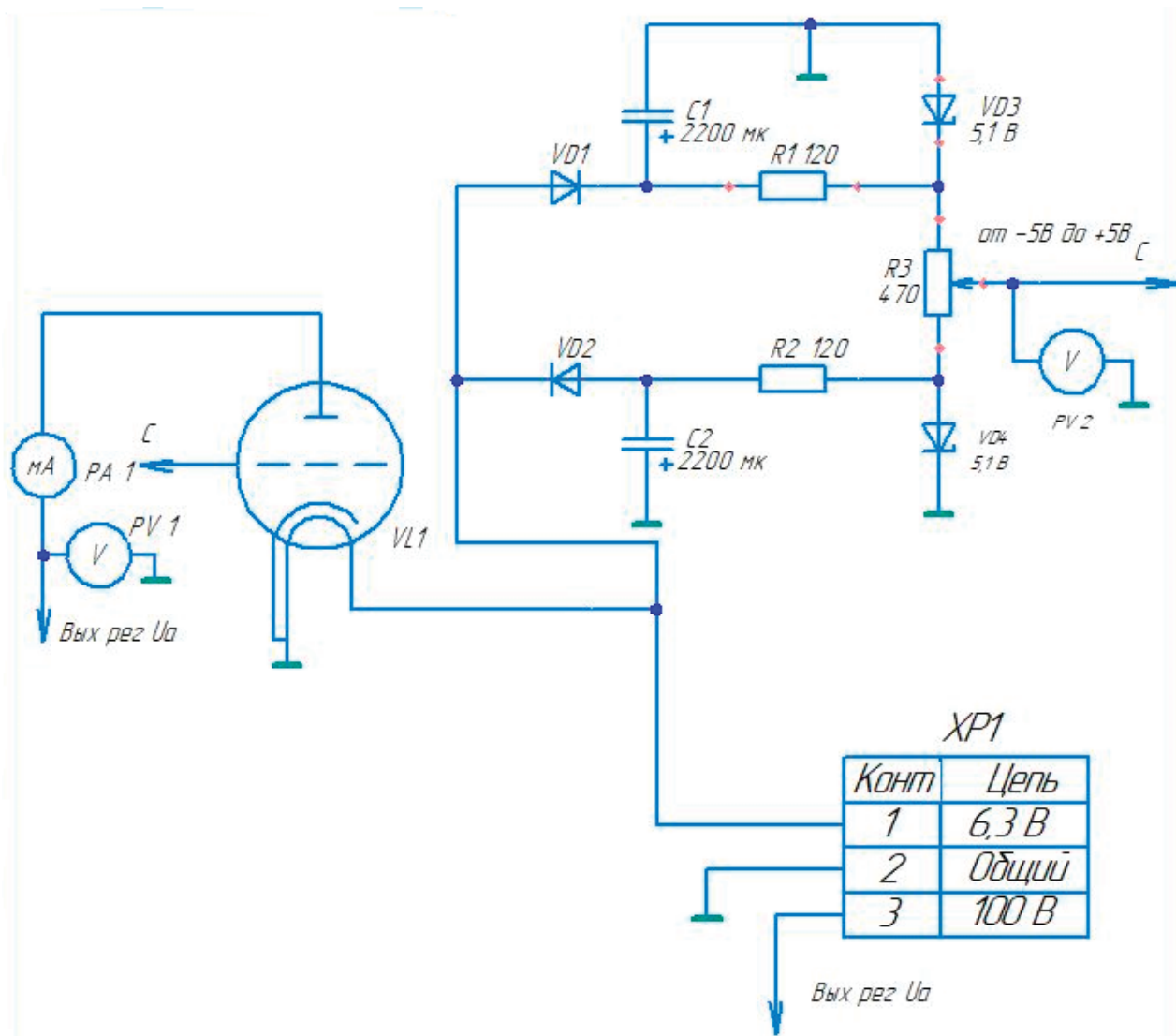


Рис. 4. Схема электрическая принципиальная включения вакуумного триода 6Н2П

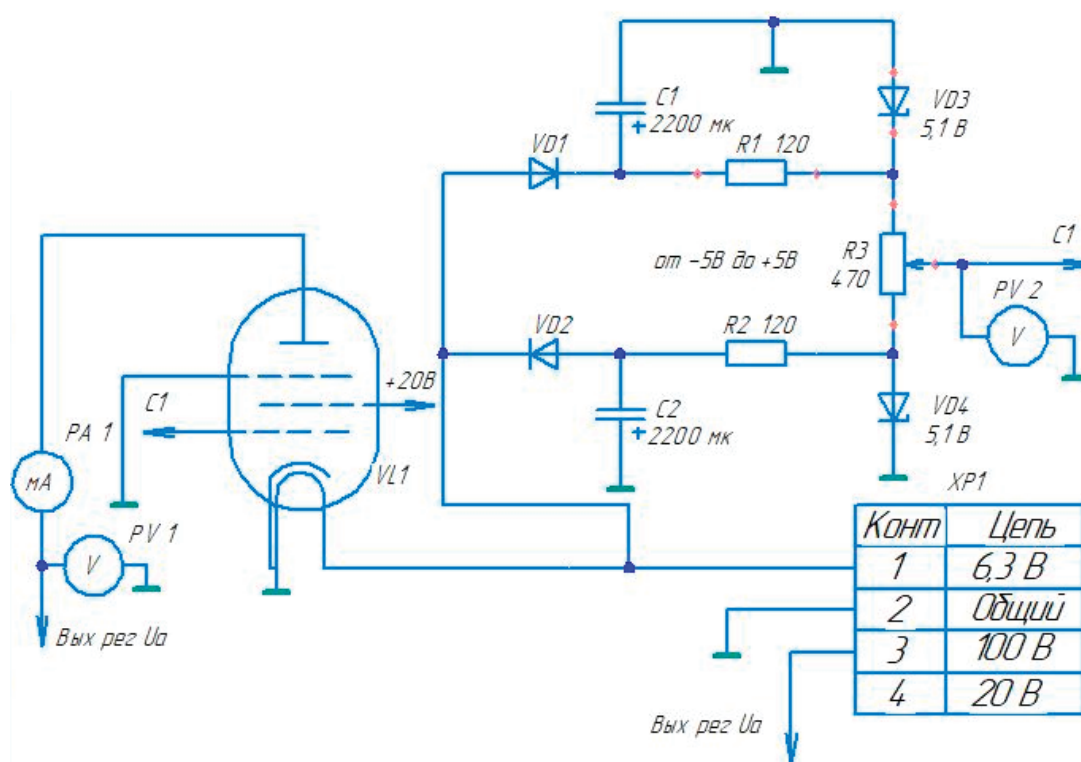


Рис. 5. Схема электрическая принципиальная включения вакуумного пентода 6П15П

### Заключение

Был разработан учебный стенд по вакуумной электронике, который позволяет снимать анодные характеристики вакуумных ламп в диапазоне анодного напряжения от 3–100В и се-

точные характеристики в диапазоне напряжения от –5,1В до +5,1В. Главное достоинство данного стенда — это его простота, что и предопределяет его успешное использование в учебном процессе для изучения анодных и сеточных характеристик вакуумных ламп.

### Литература:

1. Srivastava, Eur. J. Adv. Eng. Technol., 2 (8), 54 (2015).
2. М. Майская, Электроника: НТБ, № 6, 44 (2013).
3. G. P. Gallerano, S. Biedron, in Proc. of the 2004 FEL Conf., ed. by R. Bakker, L. Giannessi, M. Marsi, R. Walker (Graphart TS, Trieste, Italy, 2004), vol. 1, p. 216.
4. A. Baig, L. R. Barnett, D. Gamzina, N. C. Luhmann, Jr., PIER Lett., 41, 135 (2013).
5. Письма в ЖТФ, 2021, том 47, вып. 10, Алмазные фотокатоды как полевые катоды для вакуумной микроэлектроники, Э. А. Ильичев 1, А. Е. Кулешов 1, Г. Н. Петрухин 1, П. В. Минаков 2, Г. С. Рычков 1, В. В. Сень 3, Е. Г. Твердовская 1 1 Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Зеленоград, Россия 2 Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия 3 Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН, Москва, Россия
6. D. D. Hinshelwood, R. J. Allen, R. J. Commisso, G. Cooperstein, B. M. Huhman, D. Mosher, D. P. Murphy, P. F. Ottinger, J. W. Schumer, S. B. Swanekamp, S. J. Stephanakis, B. V. Weber, F. C. Young, I. Crotch, J. O'Malley, J. R. Threadgold, IEEE Trans. Plasma Sci., 35 (3), 565 (2007). DOI: 10.1109/TPS.2007.895227
7. В. Е. Фортов, Физика высоких плотностей энергии (Физматлит, М., 2013).
8. Б. А. Демидов, В. П. Ефремов, В. А. Петров, А. Н. Мещеряков, Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, № 9, 18 (2009). [B. A. Demidov, V. P. Efremov, V. A. Petrov, A. N. Mescheryakov, J. Synch. Investig., 3 (5), 673 (2009). DOI: 10.1134/S1027451009050036
9. В. И. Олешко, Пороговые процессы в твердых телах при взаимодействии с сильноточными электронными пучками, автореф. докт. дис. (ТПУ, Томск, 2009).
10. Письма в ЖТФ, 2019, том 45, вып. 12, Вольт-амперные характеристики начальной стадии дугового разряда в высоковольтном вакуумном диоде © С. Г. Давыдов, А. Н. Долгов, А. В. Корнеев, Р. Х. Якубов Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова, Москва, Россия

## Учебный стенд для изучения электрических фильтров

Янкин Владислав Александрович, студент  
Пензенский государственный университет

*Представлен учебный стенд для изучения электрических фильтров. В его составе имеется: фильтры нижних и верхних частот Чебышева, фильтры верхних и нижних частот Баттерворда и высокочастотный преобразователь переменного напряжения в постоянное.*

**Ключевые слова:** электрический фильтр, амплитудно-частотная характеристика, конденсатор, катушка индуктивности, разность потенциалов, выпрямитель.

Электрические фильтры имеют широкое применение в радиоаппаратуре, в звуковой аппаратуре, в различных усилителях для фильтрации определённых частот, в подавителях высокочастотных помех и так далее.

Фильтр верхних частот (ФВЧ) можно использовать для стабилизации постоянного тока в усилителях с большим коэффициентом усиления. А также они могут использоваться в схемах с общим источником питания.

Фильтры также используются для выделения определённых сигналов из массы других, пропуская только нужные и ослабляя те, которые не интересны.

Данные фильтры используются в радиоаппаратуре. Нужный сигнал пропускается через фильтр, очищается от ненужных сигналов и шумов путём их ослабления и усиливается.

Они могут использоваться для преобразования информации и для ликвидации ненужных эффектов в аналого-цифровых преобразователях (АЦП). Фильтры также используются для фильтрации сигнала на выходе цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) и для устранения нежелательных высокочастотных сигналов [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Поэтому данный стенд для изучения электрических фильтров актуален для подготовки студентов радиотехнических направлений.

### Методы и практическая реализация

Целью данной работы является разработать учебный стенд для изучения электрических фильтров.

Для создания нормированного фильтра Баттерворта нужно задать частоту среза равной 1 рад/с и взять нагрузку с сопротивлением 1 Ом. При расчёте нужно использовать коэффициенты преобразования, которые можно рассчитать по формулам:

$$K_L = \frac{R}{2\pi f c} \quad (1)$$

$$K_C = \frac{1}{2\pi f c R} \quad (2)$$

При помощи этих коэффициентов можно преобразовать из нормированных величин в реальные путём перемножения.

Для нагрузки с сопротивлением равным 1кОм эти коэффициенты можно принять равными и расчёт вести по формуле:

$$K_L = K_C = \frac{159154,94}{f c / 1000} \quad (3)$$

Для частоты среза равной 1кГц  $K_L = K_C = 159154,94$

Нормированные значения для фильтра Баттерворта приведены в таблице 1.

Таблица 1. Нормированные значения для фильтра Баттерворта

n	C <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>
2	1,414	1,414	-	-
3	1	2	1	-
4	0,7654	1,848	1,848	0,7654

Для расчёта фильтра нижних частот третьего порядка нужно перемножить нормированные значения на коэффициент, рассчитанный по формуле 3.

$$C_1 = 1 \cdot 159154,94 = 159154,94 \text{ пФ} \approx 159 \text{ нФ} \quad (4)$$

$$C_3 = C_1 = 159 \text{ нФ} \quad (5)$$

$$L_2 = 2 \cdot 159154,94 = 318310 \text{ мкГн} \approx 318,3 \text{ мГн} \quad (6)$$

Схема данного фильтра изображена на рисунке 1

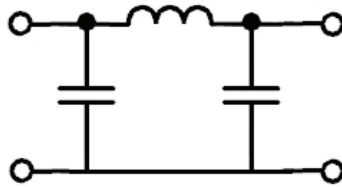


Рис. 1. ФНЧ Баттерворта третьего порядка

Для изготовления стенда нужно брать стандартные значения ёмкостей и индуктивностей, например, из ряда E192, тогда  $C_1 = C_3 = 160 \text{ нФ}$ , а  $L_2 = 320 \text{ мГн}$ .

Для построения АЧХ фильтра нижних частот использовалась программа *Tina-Ti*, результат моделирования показан на рисунке 2.

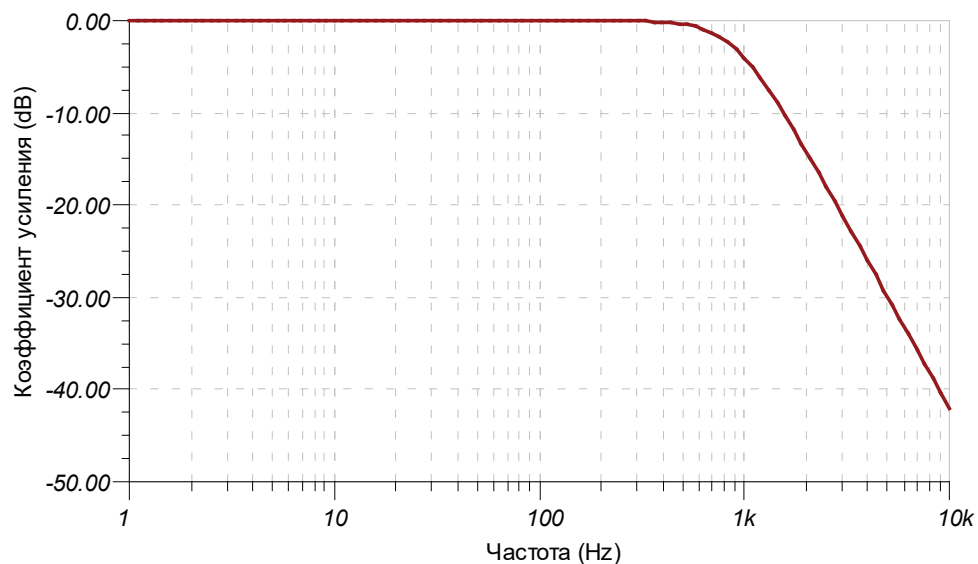


Рис. 2. АЧХ фильтра нижних частот Баттерворта третьего порядка

Фильтр верхних частот Баттерворда можно получить из низкочастотного, подставив обратные величины нормированных значений. Для расчёта ФВЧ нужно перемножить обратные нормированные значения на коэффициент, рассчитанный по формуле 3.

$$L_1 = 1 \cdot 159154,94 = 159154,94 \text{ мкГн} \approx 159 \text{ мГн} \quad (7)$$

$$L_2 = L_1 = 159 \text{ мГн} \quad (8)$$

$$C = 1/2 \cdot 159154,94 = 79578 \text{ пФ} \approx 79,6 \text{ нФ} \quad (9)$$

Схема данного фильтра изображена на рисунке 3

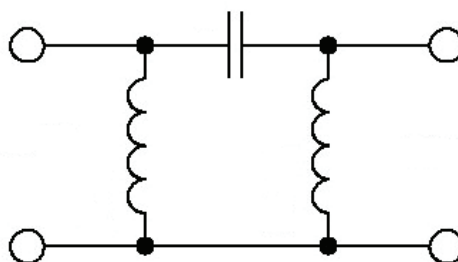


Рис. 3. П-образной ФВЧ Баттерворта третьего порядка

Для минимизации числа катушек нужно преобразовать П — образный фильтр в Т — образный. Следовательно, нужно использовать два конденсатора и одну катушку индуктивности. Ёмкости конденсаторов надо взять в два раза больше, чем П-образной схеме, а индуктивность в два раза меньше. Таким образом  $C_1 = C_2 = 159\text{нФ}$ , а  $L = 79,6\text{мГн}$ .

Чтобы изготовить учебный стенд нужно брать стандартные значения ёмкостей и индуктивностей, например, из ряда Е192, тогда  $C_1 = C_3 = 160\text{нФ}$ , а  $L_2 = 80\text{мГн}$ .

Схема данного фильтра изображена на рисунке 4

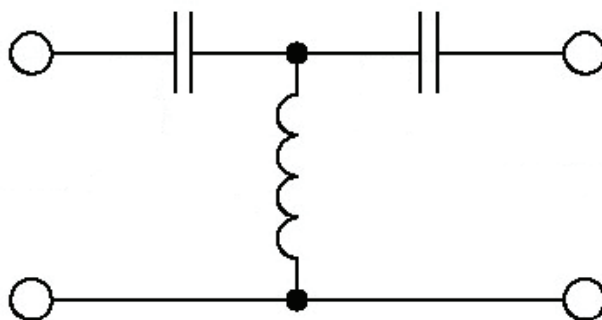


Рис. 4. Т-образной ФВЧ Баттерворта третьего порядка

Для построения АЧХ фильтра верхних частот использовалась программа *Tina-Ti*, результат моделирования показан на рисунке 5.

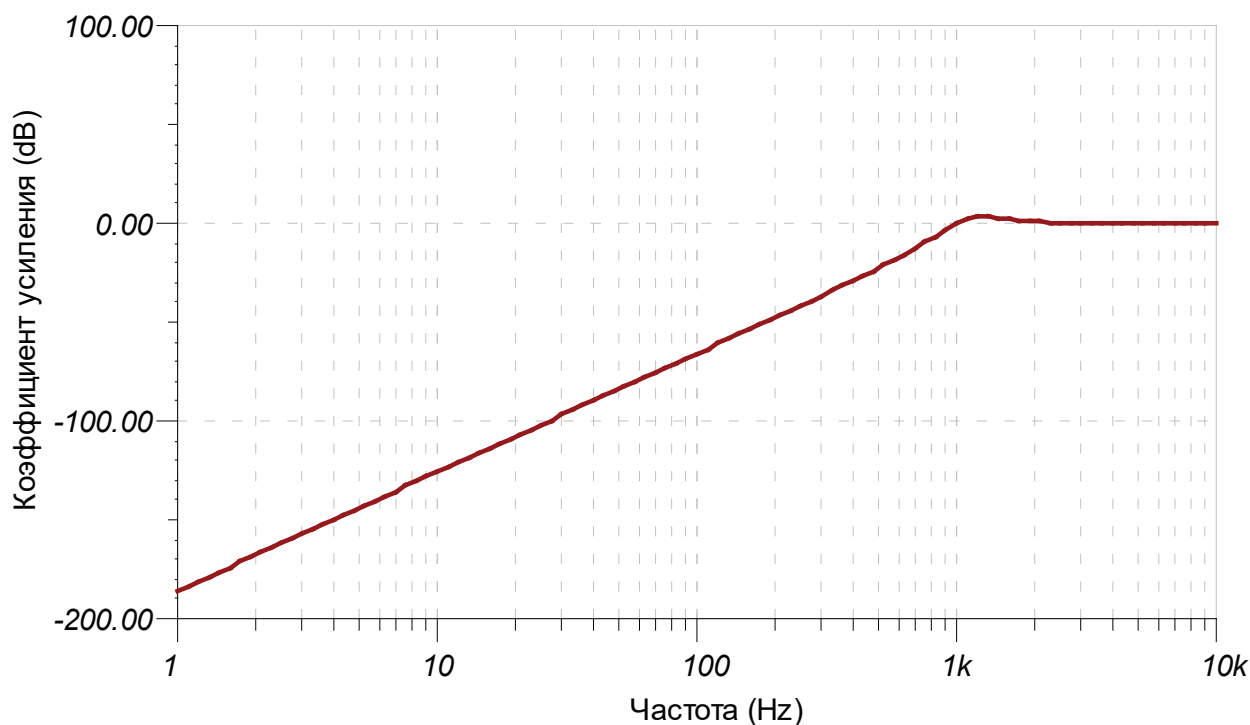


Рис. 5. АЧХ фильтра верхних частот Баттерворта третьего порядка

Как и для фильтра Баттерворта при расчёте фильтра Чебышева нужно использовать коэффициенты преобразования, которые можно рассчитать по формуле:

$$K_L = K_C = \frac{159154,94}{f_c/1000} \quad (10)$$

Для частоты среза равной 1кГц и нагрузке 1кОм  $K_L = K_C = 159154,94$

Нормированные значения для фильтра Чебышева приведены в таблице 2.

Таблица 2. Нормированные значения для фильтра Чебышева

n	C <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
3	0,6395	0,9786	0,6395	-	-
4	0,6349	1,203	1,203	0,6349	-
5	0,7664	1,31	1,588	1,31	0,7664

Чтобы рассчитать фильтр нижних частот третьего порядка нужно перемножить нормированные значения на коэффициент рассчитанный по формуле 10.

C<sub>1</sub> = 0,6395 · 159154,94 = 101779,6пФ ≈ 102нФ (11)

C<sub>3</sub> = C<sub>1</sub> = 102нФ (12)

L<sub>2</sub> = 0,9786 · 159154,94 = 155749мкГн ≈ 156мГн (13)

Схема данного фильтра изображена на рисунке 6

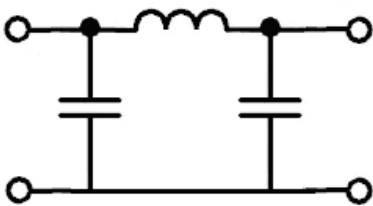


Рис. 6. ФНЧ Чебышева третьего порядка

При изготовлении учебного стенда нужно брать стандартные значения ёмкостей и индуктивностей, например, из ряда E192, тогда C<sub>1</sub> = C<sub>3</sub> = 102нФ, а L<sub>2</sub> = 156мГн.

Для построения АЧХ фильтра нижних частот использовалась программа Tina-Ti, результат моделирования показан на рисунке 7

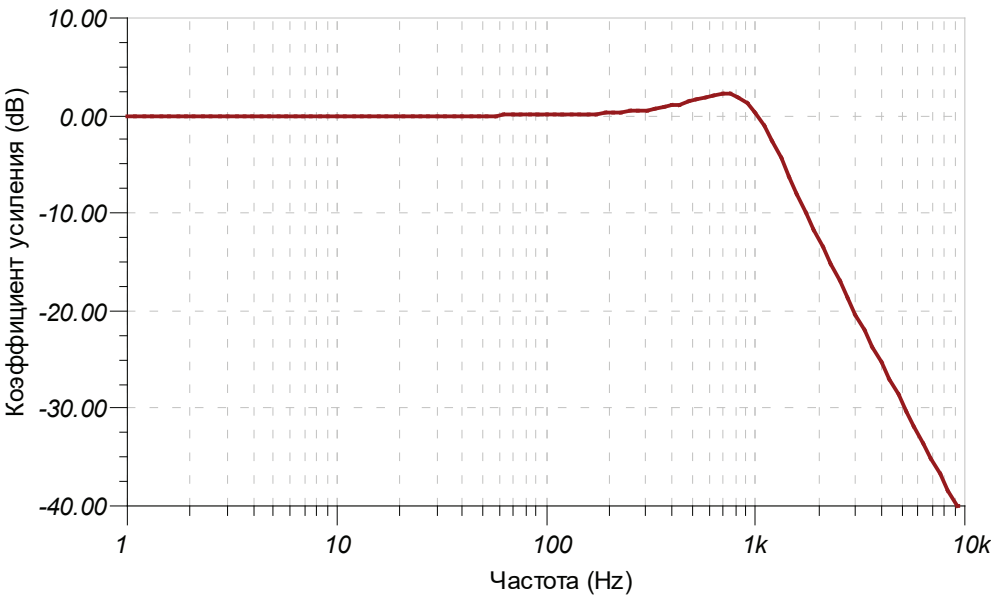


Рис. 7. АЧХ фильтра нижних частот Чебышева третьего порядка

Фильтр верхних частот Чебышева можно получить из низкочастотного, подставив обратные величины нормированных значений. Для расчёта ФВЧ нужно перемножить обратные нормированные значения на коэффициент, рассчитанный по формуле 10.

L<sub>1</sub> = 1/0,6395 · 159154,94 = 248874мкГн ≈ 249мГн (14)

L<sub>2</sub> = L<sub>1</sub> = 249мГн (15)

$$C = \frac{1}{0,9786} \cdot 159154,94 = 162635 \text{ пФ} \approx 162,6 \text{ нФ} \quad (16)$$

Схема данного фильтра изображена на рисунке 8

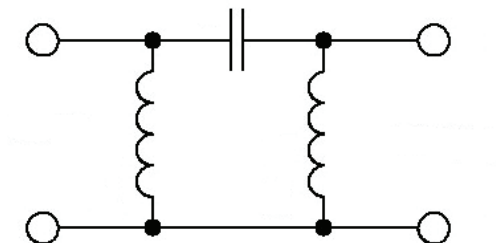


Рис. 8. П-образной ФВЧ Чебышева третьего порядка

Для минимизации числа катушек нужно преобразовать П — образный фильтр в Т-образный. Следовательно, нужно использовать два конденсатора и одну катушку индуктивности. Ёмкости конденсаторов надо взять в два раза больше, чем П-образной схеме, а индуктивность в два раза меньше. Таким образом  $C_1 = C_2 = 325,2 \text{ нФ}$ , а  $L = 124,5 \text{ мГн}$ .

Для изготовления стенда нужно брать стандартные значения ёмкостей и индуктивностей, например, из ряда E192, тогда  $C_1 = C_3 = 324 \text{ нФ}$ , а  $L_2 = 124 \text{ мГн}$ .

Схема данного фильтра изображена на рисунке 9

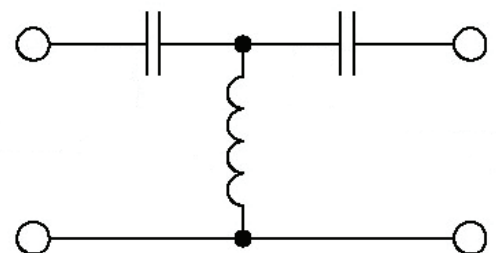


Рис. 9. Т-образный ФВЧ Чебышева третьего порядка

Для построения АЧХ фильтра верхних частот использовалась программа *Tina-Ti*, результат моделирования показан на рисунке 10

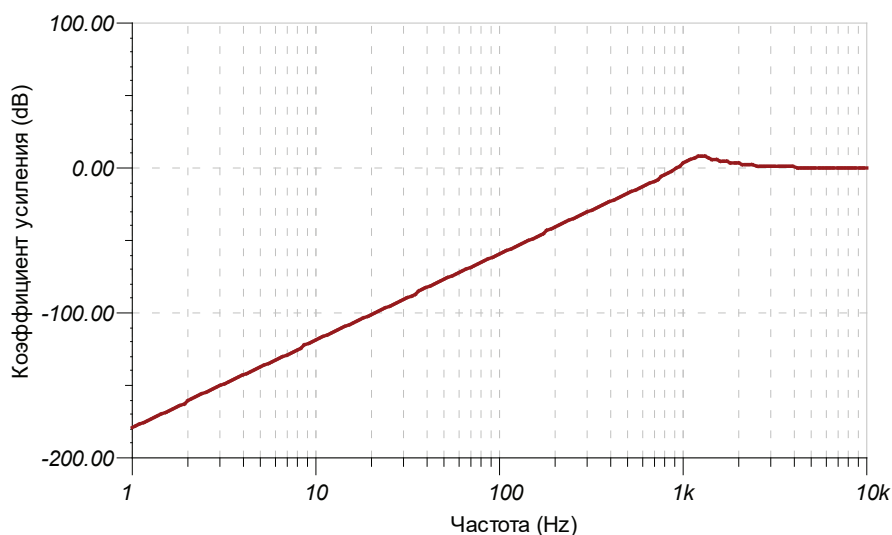


Рис. 10. АЧХ фильтра верхних частот Чебышева третьего порядка

Для построения амплитудно-частотной характеристики нужно исследовать изменение амплитуды сигнала в зависимости от частоты, а для этого нужно измерять высокочастотное напряжение на выходе этих фильтров с помощью преобразователя переменного напряжения в постоянное, поэтому был разработан преобразователь переменного напряжения в постоянное.

Схема этого преобразователя показана на рисунке 11.

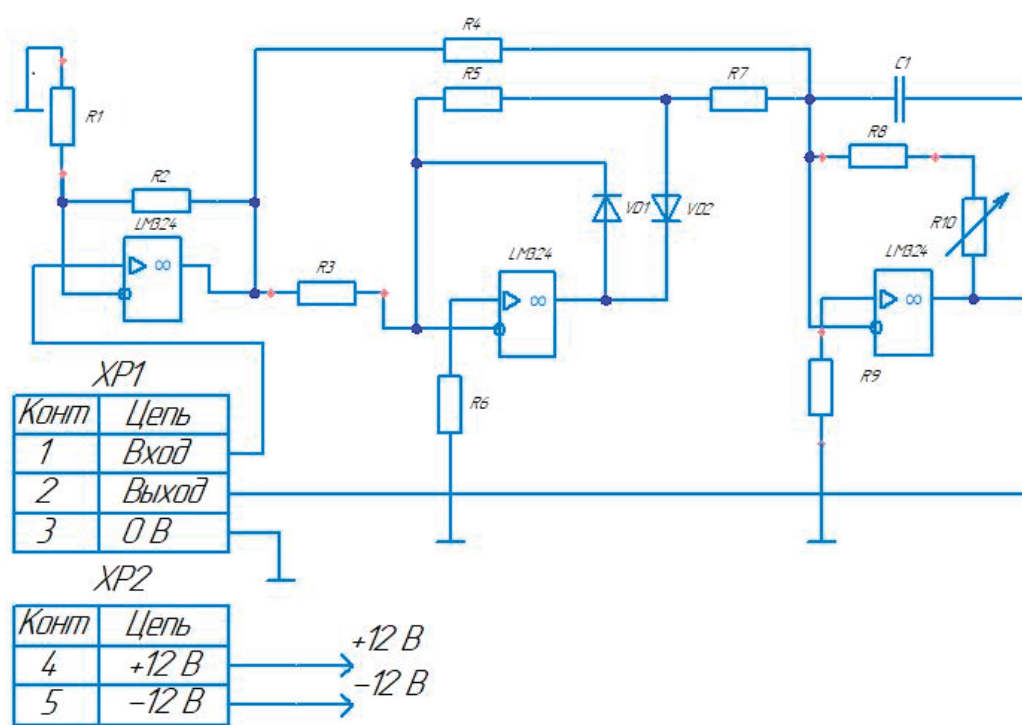


Рис. 11. Схема преобразователя переменного напряжения в постоянное

Для исследования высокочастотных сигналов этот прибор нужно подключить к вольтметру. При протекании высокочастотного переменного тока, амплитуда которого равна 1В, вольтметр отобразит 0.7В, так как значение выходного напряжения соответствует средней действующей разности потенциалов на входе [7, 8].

### Заключение

Был разработан учебный стенд для изучения электрических фильтров. Данный стенд позволяет изучать амплитудно-частотные характеристики фильтров нижних и верхних частот Чебышева и Баттерворда. Главное достоинство данного стенда — это его простота, что и предопределяет его успешное использование в учебном процессе.

### Литература:

1. A. I. Zverev, Handbook of Filter Synthesis, John Wiley, 1967.
2. A. B. Williams, Electronic Filter Design Handbook, McGraw-Hill, 1981, ISBN: 0-07-070430-9.
3. Г. Лэм. Аналоговые и цифровые фильтры. Москва, Издательство Мир, 1982
4. Д. Джонсон и др. Справочник по активным фильтрам. Москва, Энергоатомиздат, 1983.
5. Orfanidis S. J. Introduction to Signal Processing. RutgersUniversity, 2010.
6. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы: Пер. с англ. М.: Мир. 1988.
7. Дворников О. В. Универсальная микросхема для преобразования высокочастотного сигнала // ChipNews. 2002. № 2.
8. «Расчет и конструирование радиоаппаратуры» Г. Д. Фрумкин.— М.: «Высшая школа», 1989 г.



# Молодой ученый

## Международный научный журнал

№ 23 (470) / 2023

Выпускающий редактор Г. А. Кайнова

Ответственные редакторы Е. И. Осянина, О. А. Шульга, З. А. Огурцова

Художник Е. А. Шишков

Подготовка оригинал-макета П. Я. Бурьянов, М. В. Голубцов, О. В. Майер

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.

Журнал размещается и индексируется на портале eLIBRARY.RU, на момент выхода номера в свет журнал не входит в РИНЦ.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый». 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

Номер подписан в печать 23.06.2023. Дата выхода в свет: 30.06.2023.

Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Почтовый адрес редакции: 420140, г. Казань, ул. Юлиуса Фучика, д. 94А, а/я 121.

Фактический адрес редакции: 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru); <https://moluch.ru/>

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.