



# ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНИКА ИНЖЕНЕРИЯ

Международный научный журнал  
№ 1 (11) / 2019

Издается с июня 2016 г.

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

Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук

Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук

Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук

Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук

Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук

Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук

Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук

Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук

Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук

Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических 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 Максумович, кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)  
Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)  
Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)  
Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)  
Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)  
Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)  
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)  
Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)  
Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)  
Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)  
Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)  
Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)  
Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, кандидат педагогических наук, декан (Узбекистан)  
Кайгородов Иван Борисович, кандидат физико-математических наук (Бразилия)  
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)  
Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)  
Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)  
Кочербоева 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)  
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)

# СОДЕРЖАНИЕ

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Холов О.Т., Киямов А.З., Мирзаев Ш.Н.

**Конструкция для регулировки частоты вращения  
маломощного электродвигателя ..... 1**

## ЭНЕРГЕТИКА

Бухалов И.А., Игнатьев В.Н.

**Обзор проектных основ нейтронно-физических  
характеристик активных зон водоохлаждаемых реакторов .. 5**

Давтян А.Р., Кузенкова Д.С., Михалев А.В.

**Расчётные исследования быстрого исследовательского  
реактора с различными видами топлива ..... 8**

Игнатьев В.Н., Бухалов И.А.

**Воспроизводство ядерного топлива..... 12**

## СТРОИТЕЛЬСТВО

Давтян А.Р., Кузенкова Д.С., Михалев А.В., Соболев А.В.

**Особенности демонтажа АЭС ..... 17**

Макароничев А.В.

**Оценка применения ударного метода погружения свай при  
строительстве свайных фундаментов ..... 21**

# НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Бакаленко А.С., Шингаркина О.В.

<b>Обеспечение безопасности процесса переработки газового конденсата.....</b>	<b>31</b>
---	-----------



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## Конструкция для регулировки частоты вращения мало мощного электродвигателя

Холов Ориф Толибович, преподаватель;  
Киямов Асрор Зиядуллаевич, преподаватель;  
Мирзаев Шохрух Нормуродович, студент  
Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

*В статье освещается создание конструкции для регулировки частоты вращения мало мощного электродвигателя для решения проблем электротехники.*

**Ключевые слова:** промышленность, электротехника, теристор, семи-стор, электродвигатель, электроснабжение, датчик, термореле, сопротивление.

**К**ак нам всем известно, во всех отраслях промышленности используются электродвигатели разных модификаций. Эти электродвигатели в процессе эксплуатации не всегда отвечают требованиям долговечности и минимальной потребности к ремонту. Проблемы такого типа возникают во многих случаях за счёт нестабильного электроснабжения, т. е. нарушений режима стабильности обеспечения требуемого технического условия работы. С точки зрения электротехники эти проблемы возникают, в основном, в результате непредвиденных нагрузочных режимов работы агрегата. Эти нагрузки бывают механического характера, а также электродинамического. Например, возникновение механических нагрузок приводит к нагреванию обмотки электродвигателя. Но во многих электродвигателях не установлены защитные устройства в виде термических датчиков или термореле.

Примером этому так же можно привести случаи, когда происходят отключения подачи электричества. В этих случаях при остановке и пуске двигателей

за счёт высокого пускового момента происходит постепенный износ подшипников, удерживающих якорь. Чтобы предотвратить механические износы подшипников в ступицах, необходимо произвести плавный пуск электродвигателя. В некоторых случаях при снижении или повышении оборотов вращения электродвигателя возникает востребованность к стабилизации оборотов.

С этой целью мы разработали конструкцию для повышения или понижения оборотов электродвигателя. Аналога нашей конструкции мы не можем привести для сравнения. Изначально мы попробовали использовать ранее произведённые элементы (теристоры) 1980-х годов выпуска с высокой себестоимостью и большими габаритами, которые приведены на рис 1. Но они не дали требуемого результата во время испытаний.

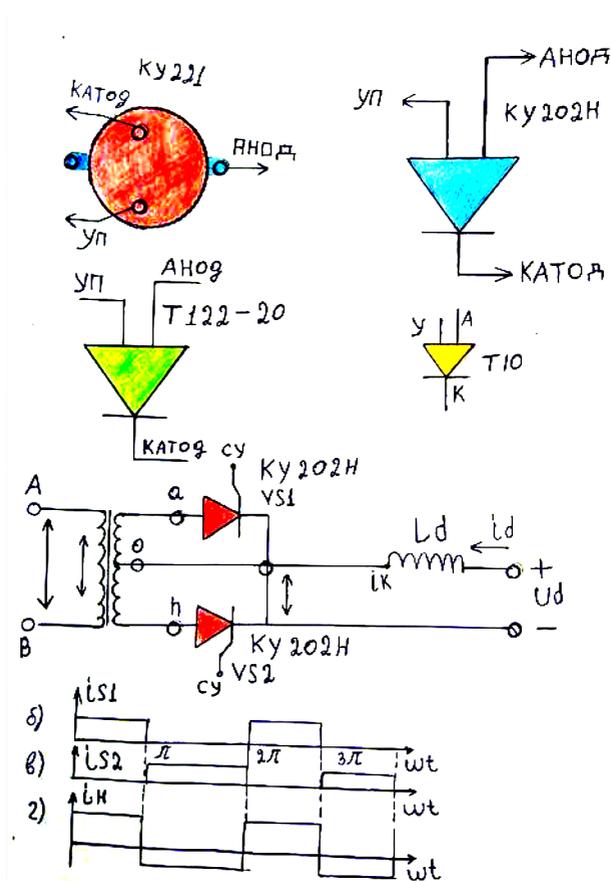


Рис. 1

Затем мы использовали семистор марки TIFGH60N60, который способствует увеличению или уменьшению частоты вращения якоря электродвигателя. На рис 2. показана схема, где используются этот семистор и контроллер марки IC LM 555.

Комментируя процесс работы установки по схеме на рис 2, можно сказать следующее. В узле «G» происходит открытие или закрытие сигналов за счёт контроллера IC LM 555. Эти сигналы, которые называем в дальнейшем синхроимпульсами, исходят из третьей ножки контроллера IC LM 555. Далее через постоянное сопротивление R3 (100 Ом) переходит в диод D1, после чего сигнал поступает в базовую часть транзистора B137Б с N-P-N переходом. Также для регулировки сигналов изначально используем переменное сопротивление R4 (120 кОм). Схема, собранная нами и представленная на рис. 2, состоит из элементов, которые можно приобрести на месте без иных заказов.

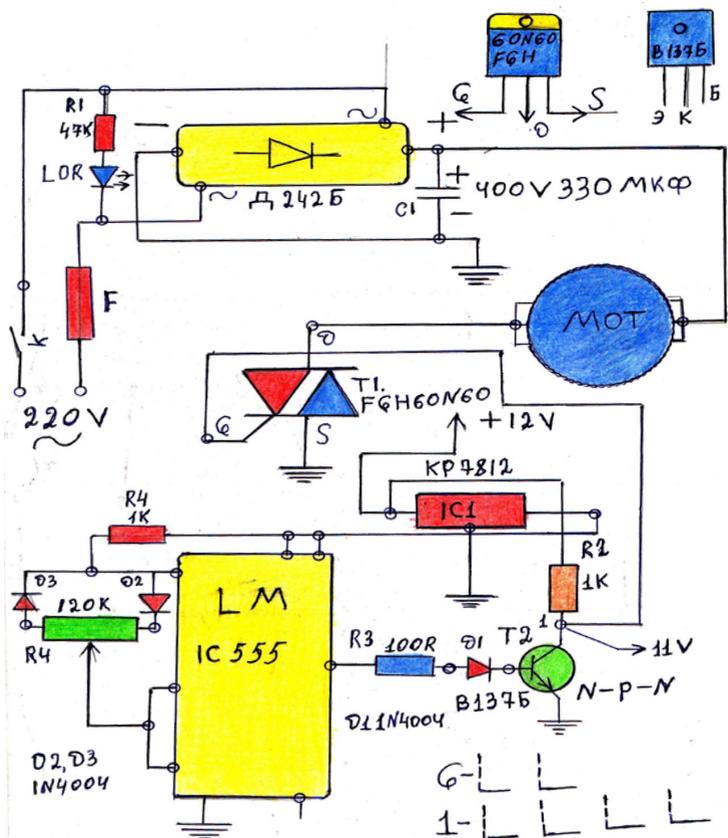


Рис. 2

Использование и эксперимент с разработанной конструкцией проведён на маломощном электродвигателе с потребляемой мощностью 0,08 кВт.

В настоящее время проводятся дальнейшие работы по разработке вышеуказанных конструкций для электродвигателей с высокой мощностью.

#### Литература:

1. Бостонов, В. Г. 300 практических советов. М., «Московский рабочий», 1986
2. Битцевич, А. Б., Зайцев А. А., Мокряков В. В., Петухов В. М., Хрулёв А. К. Радио и связь. Справочник. — М., 1988
3. 60 электронных устройств из наборов «Мастер кит». Под редакцией Алексаняна Р. Г. — М., Издательский дом «Додэка-XXI». Выпуск 2, 2004.

# ЭНЕРГЕТИКА

## Обзор проектных основ нейтронно-физических характеристик активных зон водоохлаждаемых реакторов

Бухалов Илья Андреевич, студент магистратуры;  
Игнатъев Владимир Николаевич, студент магистратуры  
Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева  
(г. Нижний Новгород)

*Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме, а именно вопросам оптимизации нейтронно-физических характеристик активной зоны ВВЭРов. Проведён обзор проектных основ, заложенных в конструкцию активной зоны реакторов. Проанализированы главные плюсы и минусы различных направлений в совершенствовании нейтронно-физических характеристик. Особое внимание уделено развитию отечественных водоохлаждаемых реакторов. В статье рассматриваются ключевые этапы и опыт эксплуатации ВВЭРов.*

**Ключевые слова:** реактор, ВВЭР, Россия, активная зона, характеристики.

**В**одо-водяные энергетические реакторы составляют основной массив «Росатома», так как являются наиболее изученными и имеют богатый опыт эксплуатации. Более половины всей производимой атомной энергии в Российской Федерации приходится на этот тип реакторов.

Следовательно, оптимизация нейтронно-физических характеристик и разработка новых конструктивных решений активной зоны данного типа реакторов — является актуальной проблемой в наши дни.

Первые концептуальные проработки в направлении развития водо-водяных энергетических реакторных установок стартовали в СССР еще в 1954

году и базировались на разработках реактора для атомной подводной лодки. Разрабатывались 2 варианта водяных электростанций (ВЭС): ВЭС-1 с алюминиевой конструкцией активной зоны для низких параметров пара и ВЭС-2 с заменой алюминия цирконием для выработки пара более высоких параметров. [1, с. 34]

Причём, первый вариант проигрывал второму по мощности вырабатываемой электроэнергии за счёт более совершенной конструкции активной зоны, а точнее, вследствие того, что материалом конструкции активной зоны в ВЭС-2 служил циркониевый сплав, который, в свою очередь, является «прозрачным» для нейтронов.

В результате был выбран второй вариант, основные параметры которого представлены в Таблице 1.

Таблица 1

## Основные параметры реактора ВЭС-2

Мощность реактора, МВт:	
— тепловая	700
— электрическая	165
Давление теплоносителя первого контура, ат	80
Температура, °С:	
— на входе в реактор	250
— на выходе из реактора	260
Давление пара перед турбиной (сухой насыщенный пар), ат	29
Размеры активной зоны, м:	
— диаметр	3,7
— высота	3,2
Размеры твэлов, мм:	
— диаметр (с оболочкой)	23,6
— длина	200
Кассета с твэлами:	
— диаметр циркониевой трубы, мм	100
— толщина стенки, мм	0,8–1,0
— в сечении кассеты семь твэлов с шагом, мм	34
— общее число кассет, шт.	1040
Максимальная тепловая нагрузка на поверхность твэлов, ккал/(м <sup>2</sup> -ч)	0,95*10 <sup>6</sup>
Максимальная температура поверхности твэлов, °С	284

В 1955 году произошла оптимизация данного типа реактора, который с этого момента уже официально именовался ВВЭР.

Основные изменения заключались в изменении параметров топливной загрузки: природный уран загружался в виде двуокиси, а обогащенный уран — в виде металлокерамики, состоящей из двуокиси урана и алюминиевого сплава, также был существенно повышен уровень обогащения (с 2% до 25% по  $^{235}\text{U}$ ).

Изменения коснулись и самих тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ): уменьшение диаметра ТВЭЛ позволило увеличить поверхность теплосъёма, что позволило уменьшить габариты активной зоны и сократить почти в четыре раза необходимую загрузку урана, а самое главное, увеличить мощность реактора до 730 МВт (т).

В дальнейшем развитии данного типа реакторов с 1956 по 1969 гг. окончательно определились с основными техническими решениями, которые впоследствии стали «фамильными» чертами ВВЭРов, а именно: тепловыделяющая сборка (ТВС) кассетного типа; существенное снижения степени обогащения урана в активной зоне, а также замена природного урана на уран с обогащением порядка 1% по  $^{235}\text{U}$ ; треугольная разбивка расположения кассет в активной зоне реактора и твэлов — в ТВС; циркониевый сплав с ниобием в качестве материала твэлов; высокопрочная легированная углеродистая сталь в качестве материала корпуса реактора. [1, с. 35–36]

В 1969 году стартовали работы по реакторной установке ВВЭР-1000, сооружение которой было запланировано на пятом энергоблоке Нововоронежской АЭС. Технический проект первого водо-водяного реактора электрической мощностью 1000 МВт, который получил обозначение В-187. При переходе к ВВЭР-1000 были увеличены высота активной зоны и общая загрузка по урану. Экономическая эффективность обеспечивалась не только увеличением единичной мощности, но и радикальным улучшением показателей топливоиспользования: повышение энергонапряженности топлива более чем в два раза (с 20 до 45 КВт/кг), увеличение глубины выгорания ядерного топлива более чем в три раза (с 12 до 43 МВт · сут/кг). [1, с. 35–36]

Дальнейшая модернизация проекта В-187 базировалась, в основном, на улучшении систем безопасности, совершенствовании паротурбинного цикла, модернизации главных циркуляционных насосов и т. п.

Таким образом, для увеличения мощности и КПД водоохлаждаемого типа реакторов, необходимым в рассмотрении является вопрос об оптимизации нейтронно-физических характеристик активной зоны, а учитывая кол-во энергии, производимой ВВЭРами в России и в мире, данная проблема является первостепенной.

## Литература:

1. Панов, С. У истоков водо-водяных // Атомный эксперт. — 2016. — № 1 (43). — с. 34–39.
2. Панов, С. Тысячники // Атомный эксперт. — 2016. — № 6 (48). — с. 36–43.
3. Окунев, В. С., Лисицын И. С. Нейтронно-физический расчет решетки ядерного реактора на основе газокINETической теории переноса. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 141 с.

## Расчётные исследования быстрого исследовательского реактора с различными видами топлива

Давтян Арсен Рубенович, студент магистратуры;  
Кузенкова Дарья Сергеевна, студент магистратуры;  
Михалев Александр Витальевич, студент магистратуры  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

*В работе представлены результаты расчетов выгорания МОХ-топлива и металлического топлива в реакторе МБИР за 500 эффективных суток. На основе полученных данных представлен сравнительный анализ и произведен оценочный расчет стоимости обращения с отработавшими тепловыделяющими сборками (ОТВС).*

**Ключевые слова:** МОХ-топливо, металлическое топливо, отработанное ядерное топливо, МБИР, захоронение радиоактивных отходов, переработка радиоактивных отходов.

**М**БИР — это многоцелевой быстрый исследовательский реактор с тепловой мощностью 150 МВт и натриевым теплоносителем. Реактор предназначен для экспериментальных исследований по различным направлениям: ресурсные испытания; отработка режимов эксплуатации перспективных видов топлива, твэлов, ПЭЛ, ТВС; радиационные испытания перспективных конструкционных материалов, наработка изотопов различного назначения и т. д. [1, с. 280] В корпусе реакторной установки МБИР расположены боковые

экраны, а. з. состоит из 93 ТВС и петлевого канала в центре, в котором достигается плотность потока нейтронов  $5 \cdot 10^{15} \text{ 1/ (см}^2 \cdot \text{с)}$ .

Согласно мировым тенденциям, в странах, для которых необходим высокий темп наработки плутония, наряду с МОХ-топливом в быстрых энергетических реакторах планируется использовать металлическое топливо. Металлическое топливо позволяет повысить характеристики внутренней самозащищенности быстрых натриевых реакторов. В связи с этим представляется необходимым отработать технологию металлического топлива в активной зоне МБИР не только ввиду его преимуществ, применительно к исследовательским реакторам, но и с учетом возможности его использования в дальнейшем в энергетических быстрых натриевых реакторах. В результате, преследуя при разработке металлического топлива для МБИР цели, характерные именно для исследовательского реактора, можно создать задел для дальнейшей проработки такого топлива для энергетических реакторов на быстрых нейтронах.

Для расчетов использовался программный комплекс на основе метода Монте-Карло. С его помощью можно провести расчеты по выгоранию любых делящихся материалов за необходимый промежуток времени. При проведении расчетов использовался разный шаг вычислений, начиная от одних суток для учёта наибольшего количества элементов и изотопов. Такой подход позволяет минимизировать погрешности вычисления.

В данной работе проведено расчетное исследование зависимости выгорания топлива в активной зоне реактора МБИР от времени за 500 эфф. суток. Расчет проводился без учета перегрузки тепловыделяющих сборок (ТВС). Сначала рассмотрим виброуплотненное МОХ-топливо с содержанием Pu 32,55 %. Таким образом были получены данные о концентрации основных изотопов, представленные в таблице 1.

Таблица 1  
Концентрации тяжелых ядер МОХ-топлива в активной зоне,  $1024/\text{см}^3$

Эфф. сут. Изотопы	0	200	300	500
U-234	-	3,99E-08	5,81E-08	9,24E-08
U-235	5,29E-05	4,69E-05	4,41E-05	3,92E-05
U-236	-	1,45E-06	2,11E-06	3,23E-06
U-237	-	3,46E-09	2,23E-08	5,56E-08
U-238	1,30E-02	1,28E-02	1,27E-02	1,25E-02
Np-237	-	5,35E-07	7,16E-07	1,54E-06
Np-238	-	6,17E-10	8,42E-10	1,93E-09
Np-239	-	2,80E-06	2,70E-06	3,05E-06
Pu-238	9,35E-06	8,62E-06	8,34E-06	7,94E-06

Pu-239	6,57E-03	6,01E-03	5,76E-03	5,33E-03
Pu-240	4,67E-04	6,01E-04	6,60E-04	7,64E-04
Pu-241	8,31E-05	8,40E-05	8,54E-05	9,16E-05
Pu-242	3,04E-05	3,13E-05	3,17E-05	3,26E-05
Pu-243	-	9,53E-10	1,06E-09	1,10E-09
Am-241	-	2,09E-06	3,08E-06	4,99E-06
Am-242	-	8,61E-09	1,82E-08	4,70E-08
Am-242m	-	7,38E-10	1,11E-09	1,77E-09
Am-243	-	7,04E-07	1,02E-06	1,63E-06
Cm-242	-	5,02E-08	9,71E-08	2,11E-07
Cm-244	-	2,81E-08	5,81E-08	1,47E-07

В варианте с металлическим топливом высокой плотности эффективная плотность топлива (плотность заполнения пространства внутри оболочки) — 15,0 г/см<sup>3</sup>. Массовая доля плутония по тяжелым ядрам в топливе составляет 20,9%. Массовая доля изотопа U-235 в смеси изотопов урана в модели равна 0,4%. Наибольшая массовая доля у изотопа U-238. Таким образом полученные данные о выгорании основных изотопов, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Концентрации тяжелых ядер металлического топлива в активной зоне, 1024/см<sup>3</sup>

Эфф. сур. Изотопы	0	200	300	500
U-234	-	4,65E-08	6,98E-08	9,73E-08
U-235	1,08E-04	9,71E-05	9,43E-05	9,20E-05
U-236	-	2,98E-06	4,01E-06	5,97E-06
U-237	-	1,53E-07	1,62E-07	1,75E-07
U-238	2,69E-02	2,65E-02	2,62E-02	2,58E-02
Np-237	-	1,12E-06	2,01E-06	3,20E-06
Np-238	-	3,26E-10	5,14E-10	9,38E-10
Np-239	-	5,96E-06	6,07E-06	6,34E-06
Pu-238	9,22E-06	8,72E-06	8,51E-06	8,19E-06
Pu-239	6,51E-03	6,11E-03	5,94E-03	5,61E-06
Pu-240	4,65E-04	5,78E-04	6,38E-04	7,13E-04
Pu-241	8,30E-05	8,40E-05	8,46E-05	8,53E-05
Pu-242	3,05E-05	3,11E-05	3,14E-05	3,22E-05
Pu-243	-	8,70E-10	8,94E-10	9,35E-10
Am-241	-	2,07E-06	3,02E-06	4,98E-06
Am-242	-	9,87E-10	4,37E-09	6,59E-09

Am-242m	-	2,67E-10	3,16E-10	6,32E-10
Am-243	-	8,46E-07	9,30E-07	1,49E-06
Cm-242	-	3,79E-08	7,62E-08	1,84E-07
Cm-244	-	3,16E-08	6,29E-08	1,93E-07

Наиболее промышленно освоенный метод переработки ОЯТ —PUREX-процесс — жидкостная экстракция урана и плутония. Эта технология позволяет достигать высокой степени очистки элементов. В настоящее время в России PUREX используется в ПО «Маяк» на заводе РТ-1 [2, с. 272].

Таблица 3

Массы элементов в различных видах топлива в конце кампании, кг

Топливо Элемент	МОХ-топливо	Металлическое топливо
U	537,50	1162,57
Pu	268,07	290,89
Малые актиниды	0,50	0,74
осколки	57,02	45,79

Поскольку металлическое топливо изначально имело большую плотность, то и к концу кампании масса урана, основной вклад в которую осуществляет изотоп U-238, остаётся большей. Большая масса отработавшего топлива неминуемо увеличит стоимость переработки и возможное количество средне и низко активных отходов. Технологии переработки и обращения с отработавшим топливом всё ещё требуют развития, однако являются перспективными и важными для изучения [3, с. 150]. Выделенные уран и плутоний могут быть направлены на повторную фабрикацию, малые актиниды направляются на хранение, а осколки деления и жидкие радиоактивные отходы, полученные после переработки, подлежат окончательному захоронению.

#### Литература:

1. Жемков, И. Ю. и др. Экспериментальные исследования в БОР-60 и анализ возможности их продолжения в МБИР/ А. Л. Ижutow, А. Е. Новоселов, Н. С. Погляд, М. Н. Святкин// Атомная энергия. — 2014. — Т. 116. — Вып. 5. — с. 280–283.
2. Зильберман, Б. Я. Развитие пурекс-процесса для переработки высоковыгоревшего топлива АЭС в замкнутом ЯТЦ с точки зрения локали-

зации долгоживущих радионуклидов //Современные проблемы химии и технологии экстракции т. — 1999. — с. 271.

3. Лавринович, Ю.Г. и др. Виды, характеристика и свойства отходов и продуктов, полученных при опытной переработке топлива реактора БОР-60 пироэлектрохимическим методом //Тезисы докладов III Российской конференции по радиохимии «Радиохимия. — 2000. — с. 150.

## Воспроизводство ядерного топлива

Игнатьев Владимир Николаевич, студент магистратуры;

Бухалов Илья Андреевич, студент магистратуры

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева

*Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме, а именно удовлетворению растущих потребностей современного общества в электроэнергии при ограниченных сырьевых ресурсах. Проанализированы главные плюсы и минусы различных направлений в производстве электроэнергии. Особое внимание уделено развитию атомной энергетики будущего. В статье рассматриваются ключевые этапы и мировой опыт использования реакторов на быстрых нейтронах, дается сравнение различных топливных циклов реакторов. В заключение раскрывается важность стратегического развития данной отрасли для России.*

**Ключевые слова:** реактор, воспроизводство, Россия, нейтрон, активная зона.

**Н**а сегодняшний день атомная энергетика является одним из перспективных направлений в производстве электроэнергии. Но доля ее производства в мировом масштабе до сих пор очень мала, она составляет примерно 10% от общей выработки электроэнергии. Наибольшее количество энергии вырабатывают ТЭС, которые работают на сжигание природных ресурсов, таких как нефть, газ и уголь. Природное топливо ограничено, а побочным продуктом при его сжигании являются вредные вещества, выбрасываемые в атмосферу, такие как двуокись серы, окись углерода и др. В настоящий момент тенденцией в мировой энергетической отрасли является развитие в будущем возобновляемой энергетики. Недостатком такой энергии, как солнечная или ветровая, является ее рассеянность по планете и невозможность работы в пиковых режимах на-

грузки, поэтому для удовлетворения растущих потребностей в электроэнергии человека приходится использовать ТЭС и АЭС.

В качестве основного делящегося вещества в современных реакторах используют уран  ${}_{92}^{235}\text{U}$ . Его количество в природной урановой руде составляет 0.7%, т. е. в процессе производства энергии мы можем сжечь всего лишь 0.7% нужного  ${}_{92}^{235}\text{U}$  от общего его количества, все остальное — отходы производства. Оставшаяся руда — это  ${}_{92}^{238}\text{U}$ , который при захвате нейтрона, превращается в  ${}_{92}^{239}\text{U}$  и после двух бета распадов становится  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ , а в качестве основного делящегося вещества, образующего критическую массу может быть взят один из четно-нечетных нуклидов урана или плутония или их смесь, т. е.  ${}_{92}^{233}\text{U}$ ,  ${}_{92}^{235}\text{U}$ ,  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ . Соответственно, полученный плутоний можно рассматривать как вторичное ядерное горючее. Получается, что при сжигании топливной смеси  ${}_{92}^{235}\text{U}$  и  ${}_{92}^{238}\text{U}$ , мы можем набирать вторичное ядерное горючее  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ , которое отлично сможем использовать в дальнейшем.

Если сжигается и воспроизводится, в основном, один делящийся нуклид, то топливный цикл реактора может быть замкнутым, поскольку реактор снабжает сам себя горючим. Особый интерес представляет реактор размножитель, который воспроизводит больше горючего, чем сжигает. Есть еще также реакторы конверторы, которые при сжигании одного нуклида воспроизводят другой.

Возможны четыре типа конверторов:

$5 \rightarrow 9$  — сжигается  $\text{U}^{235}$ , а воспроизводится  $\text{Pu}^{239}$ ;

$5 \rightarrow 3$  — сжигается  $\text{U}^{235}$ , а воспроизводится  $\text{U}^{233}$ ;

$9 \rightarrow 3$  — сжигается  $\text{Pu}^{239}$ , а воспроизводится  $\text{U}^{233}$ ;

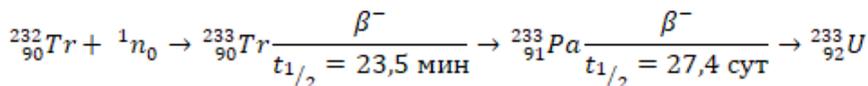
$3 \rightarrow 9$  — сжигается  $\text{U}^{233}$ , а воспроизводится  $\text{Pu}^{239}$ ;

Кроме указанных возможны различные смешанные режимы. Отметим, что реактор, в котором сжигается и воспроизводится один и тот же нуклид, но воспроизводство неполное, строго говоря, нельзя отнести ни к переработчику, ни к размножителю. Для обозначения такого режима нет специального термина. Наиболее эффективно такие реакторы работают на быстрых нейтронах, этот процесс характеризуется физической величиной КВ — коэффициентом воспроизводства [1, с. 99].

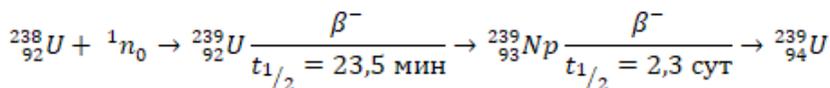
Мировой опыт использования реакторов на быстрых нейтронах ограничивается по своей сути тремя странами, это США, Франция и Россия, но интерес к этому направлению проявляют азиатские страны, такие как Индия, Япония, Китай, Южная Корея. Первый быстрый реактор был построен в Соединенных Штатах. Реакторы Феникс и БН-350 были построены во Франции и СССР, примерно, в одно и то же время, после чего были построены улучшенные версии Супер-Феникс и БН-600. США прекратило развитие быстрых реакторов в связи с возможностью использования плутония при создании ядерного оружия. В 90-ых годах программа быстрых реакторов прекратилась и

во Франции. Россия на данный момент является единственной страной в мире, в которой осуществляется опытно-промышленная эксплуатация реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Сейчас Индия начала активное развитие в этом направлении со строительства демонстрационного быстрого натриевого реактора PFBR-500.

Рассмотрим основные аспекты воспроизводства топлива.  $U^{233}$ ,  $U^{235}$ ,  $Pu^{239}$  являются основным делящимся материалом, образующий критическую массу. Воспроизводиться в реакторе в значительном количестве могут только  $U^{233}$ ,  $Pu^{239}$ . Первый образуется из  $Tr^{232}$  по схеме



Второй образуется из  $U^{238}$



В настоящее время наиболее распространен режим переработчика  $5 \rightarrow 9$ . К таким реакторам относится большинство энергетических реакторов на тепловых нейтронах. Первая загрузка БН-350 и БН-600 также соответствует режиму переработчика. В смешанном режиме размножителя-переработчика работал первоначально реактор «Феникс», который затем был переведен в режим размножителя (бридера).

Несмотря на то, что ресурсы урана и тория на земле сравнимы друг с другом, поэтому урановый и ториевый циклы заслуживают примерно одинакового развития. Тем не менее в настоящее время более разработана технология уранового цикла. Развитие РБН (реактор на быстрых нейтронах) в основном ориентируется именно на урановый цикл. Главная причина этого заключается в том, что нейтронный баланс в РБН получается наиболее благоприятным в отношении воспроизводства ядерного горючего при работе на  $Pu^{239}$ .

Для РБН режим ториевого размножителя в чистом виде имеет следующие недостатки: 1) Среднее сечение деления  $Tr^{232}$  в спектре активной зоны существенно меньше, чем сечение деления  $U^{238}$ , поэтому ухудшается энергетическое использование сырьевого нуклида; 2) в интенсивном потоке нейтронов активной зоны РБН скорость распада промежуточного ядра  $Pa^{233}$  оказывается сравнимой со скоростью поглощения нейтронов этим ядром, что приводит к выгоранию  $Pa^{233}$  и ухудшению воспроизводства.

Применительно к РБН выгоднее осуществлять смешанный уран-ториевый цикл. При этом  $U^{238}$  в качестве разбавителя и сырьевого материала исполь-

зуются в активной зоне, а  $T_{r^{232}}$  — в зонах воспроизводства, где поток нейтронов ниже.

Очевидно, что самое низкое воспроизводство — в реакторах на промежуточных нейтронах, а самое высокое — в реакторах на быстрых нейтронах. Что бы получить наибольшее воспроизводство в реакторах на медленных нейтронах, действующий спектр должен быть хорошо термализованным.

Сделаем оценку по фундаментальным характеристикам нуклидов для реактора на тепловых нейтронах со слабообогащенным ураном по следующей формуле:

$$KB = (\eta^{39} - 1) + (\nu^{38} - 1)\epsilon^{38} - \sum_i \frac{\rho_j}{\rho^{39}} \frac{\sigma_{c,j}}{\sigma_{c,39} + \sigma_{f,39}}$$

$\sigma_{c,j}$  — среднее сечение захвата  $j$  —

относящееся ко всем материалам, кроме горючего и сырья, находящегося в АЗ.

$\sigma_{f,39}$  — сечение деления  $Pu^{239}$ .

Пусть это будет энергетический реактор с графитовым замедлителем, водяным теплоносителем и окисным топливом в циркониевой оболочке. Можно полагать, что  $\epsilon^{38}$  не будет превышать в этом реакторе 3%. Примем, что в среднем на одно ядро топлива приходится  $10^4$  ядер замедлителя ( $\sigma_c = 3,5$  мб), одна пара ядер продуктов деления ( $\sigma_c = 60$  б), 50 ядер циркония ( $\sigma_c = 0,18$  б) и 100 ядер водорода ( $\sigma_c = 0,33$  б), оценка дает для такого реактора:

При работе на  $U^{233}$   $KB \approx 1,11$

При работе на  $U^{235}$   $ПК \approx 0,93$

При работе на  $Pu^{239}$   $KB \approx 1,03$

Практически в энергетических реакторах на тепловых нейтронах воспроизводство не получается расширенным, за исключением некоторых систем с  $U^{233}$ . В современных реакторах на тепловых нейтронах с водяным и графитовым замедлителем, работающих в режиме  $5 \rightarrow 9$ , ПК (плутониевый коэффициент) меньше 0,7.

Выполним аналогичную оценку для РБН с натриевым теплоносителем и окисным топливом. Доля делений на  $U^{238}$  в РБН значительно больше, чем в реакторах на тепловых нейтронах (обычно  $\epsilon^{38} \geq 15\%$ ). На ядро топлива приходится около 15 ядер кислорода ( $\sigma_c = 1$  мб), 10 ядер компонентов нержавеющей стали ( $\sigma_c = 20$  мб), 10 ядер натрия ( $\sigma_c = 2$  мб) и 0,2 пары продуктов деления ( $\sigma_c = 0,5$  б). В этом случае для реактора на быстрых нейтронах:

При работе на  $U^{233}$   $KB \approx 1,44$

При работе на  $U^{235}$   $ПК \approx 1,29$

При работе на  $Pu^{239}$  КВ  $\approx 1,66$

Таким образом, в энергетическом РБН КВ значительно превышает единицу.

КВ в РБН получается наибольшим, если в качестве горючего используется плутоний. В режиме уранового размножителя реактор полностью обеспечивает себя ядерным горючим, потребляя только естественный уран и обедненный уран из отвалов диффузионного производства. Наименее выгодный баланс нейтронов получается в режиме конвертера, когда потребляется обогащенный уран. Этот режим может считаться переходным при отсутствии необходимого для первоначальной загрузки РБН количества плутония. Первоначальная загрузка  $U^{235}$  будет постепенно замещаться на плутониевую, так что в активной зоне будут одновременно сгорать  $U^{235}$  и  $Pu^{239}$ .

Таким образом, в условиях ограниченного количества топлива для АЭС с тепловыми нейтронами, ожидается активное увеличение разработки реакторов на быстрых нейтронах. Россия сейчас занимает лидирующие позиции, разрабатывая реактор БН-1200. Их экономическая эффективность планируется сопоставимой эффективности водо-водяных реакторов. В результате, Россия получит дешевый, экологический, «возобновляемый» источник энергии на тысячи лет.

### Литература:

1. Усынин, Г. Б., Кусмарцев Е. В. Реакторы на быстрых нейтронах. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 288 с.
2. Бойко, В. И., Демянюк Д. Г., Кошелев Ф. П., Мещеряков В. Н., Шаманин И. В., Шидловский В. В. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения. — Томск: ТПУ, 2005. — 456 с.
3. Окунев, В. С. Основы прикладной физики и введение в физику ядерных реакторов. — 2-е изд. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. — 529 с.

# СТРОИТЕЛЬСТВО

## Особенности демонтажа АЭС

Давтян Арсен Рубенович, студент магистратуры;  
Кузенкова Дарья Сергеевна, студент магистратуры;  
Михалев Александр Витальевич, студент магистратуры;  
Соболев Артем Владимирович, старший преподаватель  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

*Проведен анализ структуры и последовательности демонтажа АЭС. Рассмотрена технологическая схема переработки Ж/Б отходов после демонтажа АЭС. Проведены лабораторные испытания на определение физико-механических свойств установленного материала, для обоснования целесообразности его применения в строительстве.*

**Л**иквидация блока атомной станции — вариант вывода из эксплуатации блока АЭС, предусматривающий дезактивацию загрязненных радионуклидами зданий, сооружений, систем и элементов блока АЭС до приемлемого уровня в соответствии с действующими нормами радиационной безопасности и (или) их демонтаж, обращение с образующимися радиоактивными отходами (РАО) и другими опасными отходами, а также подготовку площадки выводимого из эксплуатации блока АЭС для дальнейшего ограниченного или неограниченного использования. Общие с другими (действующими) блоками АЭС здания, сооружения, системы и элементы не считаются относящимися к площадке выводимого из эксплуатации блока АЭС.

## Обращение с твердыми РАО (Ж/Б)

При выполнении этапов работ по выводу из эксплуатации или переводу блока в экологически безопасную систему образуется значительное количе-

ство твердых, жидких и газообразных радиоактивных отходов, которые необходимо надежно локализовать от внешней среды. Но в нашем случае будут рассмотрены только твердые РАО.

В данном случае под радиоактивными отходами понимается все загрязненное или с наведенной активностью оборудование и строительные конструкции, при этом нас интересуют только конструкции. Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) в чистом виде радиоактивными отходами не является

Для сравнения численного значения активности загрязненных элементов оборудования и конструкций и отнесения их к той или иной группе РАО приведена таблица из ОПРОБ-99/2010 (основные правила обеспечения радиационной безопасности) [1], в которой указана категория отходов и предельное содержание в элементах различных радионуклидов (табл. 1).

Таблица 1

## Классификации основных санитарных правил обеспечения РБ

Категории отходов	СП 2.6.1.2612–10		
	Удельная активность, кБк/кг		
	$\beta$ — излучающие радионуклиды	$\alpha$ — излучающие радионуклиды	Трансурановые радионуклиды
Использование без ограничений	Менее 0,3	Менее 0,3	Менее 0,3
Ограниченное использование	От 0,3 до $10^2$	От 0,3 до 10	От 0,3 до 1,0
Низко активные	От $10^2$ до $10^3$	От 10 до $10^2$	От 1 до 10
Средне активные	От $10^3$ до $10^7$	От $10^2$ до $10^6$	От 10 до $10^5$
Высоко активные	Более $10^7$	Более $10^6$	Более $10^5$

Переработка осуществляется по технологической схеме (рисунок 1) в несколько стадий: первичное дробление; сортировка; вторичное дробление; удаление древесины и мойка.

Под повторным использованием в нашем случае мы понимаем непосредственно транспортировка и производство в дальнейшем боя бетона, необходимой нам фракции, который дальнейшем будет применяться как наполнитель для 3D-принтера. Технологическое оборудование, используемое на линиях по переработке некондиционного бетона и железобетона, обеспечивает получение вторичного щебня, применение которого допускается лишь при устройстве подстилающих слоев дорожных одежд и оснований. Эффективность применения щебня из дробленого бетона резко возрастает при использовании его вместо наполнителя из природного каменного материала при производстве конструкций из сборного железобетона непосредственно на предприятии,

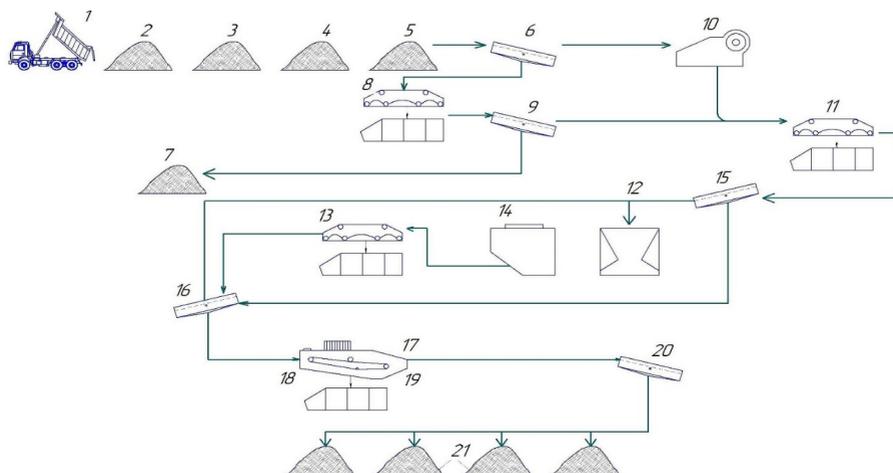


Рис. 1. Технологическая линия по переработке ж/б ПАО: 1 – автотранспорт; 2 – смесь; 3 – бетон; 4 – кирпич; 5 – асфальт; 6 – установка для грохочения тяжелого металла; 7 – песо к-заполнитель; 8 – электромагнит; 9 – отсеивание песка; 10 – ударная дробилка; 11 – электромагнит; 12 – резервный бункер; 13 – электромагнит; 14 – ударно-отражательная мельница; 15 – грохот; 16 – грохот; 17 – водоочистка; 18 – аквамотор; 19 – щепа, органические компоненты; 20 – фракционирование; 21 – склад вторичных заполнителей

где осуществляется переработка. Для этого необходимо обеспечить получение фракционированного щебня из дробленого бетона.

## Испытания и образцы

Целью исследования — определение физико-механических характеристик бетона с отходами от утилизации Ж/Б конструкций. Это необходимо для обоснования его применения как конструктивного материала.

Основными задачи работы заключались в следующем:

- Провести исследование физико-механических свойств боя бетона для использования в строительстве
- Провести изучение физико-механических свойств бетона с различными добавками (фибра, свинец и д. р.)

Для начала работы необходим образец бетона, который за свой срок эксплуатации испытали все виды нагрузок и виды воздействия на бетон. Поскольку если не учитывать сам контеймент, все здания на территории АЭС построены

по типу обычных промышленных зданий. Поэтому на подходило любое промышленное здание, им оказался завод КССК — «Комбинат Сборных Строительных Конструкций» находившийся на территории г. Балаково, Саратовской обл. Конструкции данного промышленного объекта, учитывая специфику производства испытывали все виды нагрузок и воздействий, что является преимуществом, поскольку учитываются фактор усталости бетона, а также работы на сжатие, что непосредственно в дальнейшем влияет на прочность боя бетона.

Образцы отбиты от двухветвевой колонны. Куски бетона собраны с одной из ветвей колонны, при этом стоит подчеркнуть, что колонна была без дефектов и сколов, при этом она несла нагрузку от опиравшихся плит, вследствие чего можно сказать, что бетон работал на сжатие, что максимально приближает образец к реальному условию работы таких видов конструкций, на территории АЭС.

Далее образцы бетона проверены на прочность с помощью склерометра — измерителя прочности бетона (ОНИКС-2.5), вследствие чего выявлено, что прочность полученных образцов бетона составляет 15 МПа, что соответствует марке бетона В15 согласно ГОСТ-26633–2012 [2]. После чего образцы раздроблены в щекодробилке на базе лаборатории БИТИ НИЯУ МИФИ «Эксплуатационная надежность конструкций и строительных материалов» кафедры ПГС. Бой бетона соответствовал марке 1000 согласно ГОСТ 8267–93 [3].

Далее из полученных компонентов изготовлены специальные образцы бетона, с двумя составами для определения физико-механических свойств такого рода бетона. В состав бетона входил непосредственно щебень, как заполнитель, фибра и свинец в определенной концентрации, описанные в таблице 2.

Таблица 2

## Состав образцов

№ за- меса	Дата за- меса	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	Вода, мл	Фибра, гр	Свинец, гр	28 суток, МПа
1	29.11.18	1,428	3450	2,777	793	-	-	
2	29.11.18	2,142	5175	4165,5	1489,5	107	17	

Результат работы — изготовленные бетонные образцы, которые пройдут испытания на сжатие.

## Литература:

1. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010. СП 2.6.1.2612–10.

2. ГОСТ26633–2012 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
3. ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия (с Изменениями N 1–4).

## Оценка применения ударного метода погружения свай при строительстве свайных фундаментов

Макароничев Александр Викторович, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*Работа посвящена изучению технологического процесса, связанного с устройством свайных фундаментов ударным методом погружения. В статье рассматриваются: технология погружения свай методом забивки; общие сведения о механизмах, применяемых при забивке железобетонных свай и направления развития методов погружения свай. На примере установки для забивки свай ПДД-1 и вдавливающей установки СВУ В-6, а также методом завинчивания машиной УБМ-85, были выдвинуты достоинства и недостатки при использовании подобного устройства свайного фундамента. Разработана методика выполнения технико-экономического расчета на основе общепринятых формул и зависимостей.*

*Произведен расчет и сравнительный анализ технико-экономических показателей машин для погружения свай.*

**Ключевые слова:** сваи, свайные фундаменты, погружение свай, технология забивки, вдавливание свай, технико-экономический расчет.

**В** современном строительстве на сегодняшний день ударный метод является самым применяемым для устройства свайного основания. Но, тем не менее, использование в тесной застройке ударного метода ограничено или невозможно, ввиду больших динамических воздействий [1].

Технологию забивки свай может применяться при устройстве свайного основания фундамента для любых зданий и сооружений, при условии отсутствия воздействия на соседние строения, которое может повредить их при сотрясении почвы ввиду динамических воздействий от ударов сваебоя. Поэтому есть необходимость усовершенствования подобной технологии и применяемых устройств.

Достоинствами ударного метода забивки являются: высокая производительность; короткие сроки строительства; увеличение несущей способности грунтов, при забивке, ввиду уплотнения околосвайного грунта (на 5–30%); молоты работают независимо от внешних источников энергии; быстрота подготовки к работе; простота и удобство в эксплуатации; невысокая стоимость работ и навесного оборудования; в отличие от СВУ, установка для забивки свай имеет малые габариты и малый вес.

К недостаткам данного способа относят: динамические воздействия на ствол сваи и грунт, а также на фундаменты соседних зданий и сооружений. При наличии рядом со строительной площадкой аварийных зданий забивка свай неприемлема; так же механизмы создают шум и загрязняют выбросами отработанного топлива окружающую среду.

Если невозможно применить метод забивки, то рассматривают альтернативные способы погружения свай. Могут применить метод статического вдавливания, который не имеет недостатков способа забивки. Такой метод может быть актуален при реконструкции зданий старого фонда.

Метод статического вдавливания заключается в погружении готовых элементов в грунт самоходными вдавливающими машинами. Технологический цикл состоит из: подъезда машины на точку вдавливания; пригруз механизма; строповка сваи и ее подтягивание; установка сваи на точку; погружение; переезд машины к следующей точке вдавливания.

Основные выгоды по сравнению с забивкой свай: экономия времени за счет высокой производительности; экономия средств на лидерном бурении, а также средств на энергозатраты, так как при забивке свай много энергии тратится на динамические воздействия на сваю и грунт; экономия средств за счет снижения затрат на предварительные полевые испытания свай и грунтов, так как СВУ может измерять вдавливающее усилие; за счет равномерного уплотнения грунта повышается общая несущая способность свайного поля; отсутствует разрушение материала сваи при вдавливании; минимальный уровень шумового воздействия (до 50 дБ).

Способ погружения свай завинчиванием может исключать некоторые недостатки, перечисленных в двух предыдущих методах.

Принцип погружения свай завинчиванием основывается на завинчивании, с помощью мобильных установок, стальных и железобетонных свай со стальным наконечником. Такой метод широко применяется при устройстве фундаментов под мачты ЛЭП, радиосвязи и др. сооружения, где вполне достаточна несущая способность винтовых свай и их сопротивления выдергиванию. Установка для завинчивания состоит из рабочего органа, гидросистемы, приводов вращения, коробки управления, выносных аутригеров и дополнительного оборудования.

Рабочий орган — кабестан, — представляет собой механизм, состоящий из электродвигателя и пары захватов. Захваты обхватывают сваю и передают ей вращательное движение от электродвигателя. В зависимости от назначения, длина свай может превышать 20 м, а винтовые лопасти могут достигать в диаметре от 0,3 м до 3 м. Технологический цикл погружения свай завинчиванием аналогичен операциям, выполняемым при забивке или при вибропогружении. Разница лишь в том, что вместо устройства наголовника одевают металлическую оболочку. После завинчивания винтовой сваи, полость сваи заполняют бетоном.

Достоинства винтовых свай — это их высокая несущая способность; плавное погружение в грунт без динамических воздействий; восприятие отрицательных усилий.

### Сравнительный метод погружения свай

Выбор технологии погружения свай и применяемых машин, обусловлен следующими определяющими факторами: тип свай, глубина погружения, инженерно-геологические условия площадки, объем свайных работ, производительность механизмов, технико-экономическое обоснование [2].

Рассмотрим трудозатраты на погружение 1 куб. м. свай длиной 12 м., в соответствии с ГЭСН 81—02—05—2001 Часть 5. Свайные работы. Первичные данные для расчета сведены в табл. 1. Результаты анализа представлены в виде диаграммы (рис. 1)

Таблица 1

Первичные данные для расчета

Наименование элемента затрат	Ед. измер	Вибропогружение свай	Забивка свай	Вдавливание свай	Завинчивание свай
Затраты труда рабочих-строителей	чел.-ч	4,58	2,7	1,4	1,3
Затраты труда машинистов	чел.-ч	1,94	1,31	0,75	2,3
Вид используемых кранов		Кран гусеничный. 25 т.	Кран гусеничный. 16 т.	СВУ на базе крана на гусеничном ходу РДК	Машины бурильные универсальные на автомобильном ходу
Затраты рабочего времени установки	маш.-ч	0,88	0,02	0,61	2,62

Вид используемых навесного оборудования		Вибропогружатели низкочастотные (сваи до 3 т.)	Дизель-молоты 2,5 т		
Затраты рабочего времени оборудования	маш. -ч	0,87	1,02		

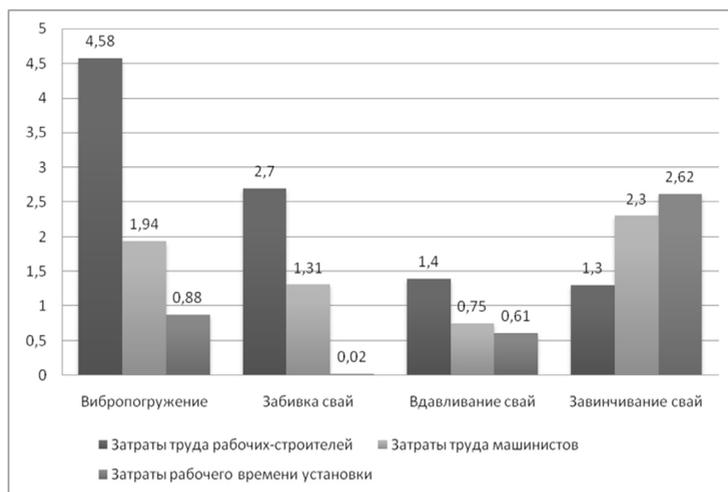


Рис. 1. Диаграмма временных затрат на погружение 1 куб м свай

На диаграмме видно, что вдавливание является наименее затратным способом погружения. Но так как в нормах ГЭСН не учтены затраты на аренду или покупку, на транспортировку и установку машин, то для обоснования принятого метода необходимо выполнять технико-экономические расчеты для конкретной местности и объекта строительства [3].

### Технико-экономический расчет

Целью расчета является построение зависимостей общей стоимости выполнения работ от объемов работ. В расчете использованы классические формулы по определению технико-экономических показателей машин и механизмов [4,5].

Общая стоимость выполнения работ определяется по формуле (1):

$$C = C_{\text{м.см.}} \cdot T + E \quad (1)$$

где  $C_{\text{м.см.}}$  — себестоимость машино-смены работы машины;  $T$  — продолжительность работы машины на объекте;  $E$  — единовременные расходы на транспортировку машин от склада механизации до строительной площадки, руб.

Себестоимость машино-смены работы машины  $C_{\text{м.см.}}$  определяется по формуле (2):

$$C_{\text{м.см.}} = c \cdot C_e + \frac{Z_\Gamma}{T_\Gamma} \quad (2)$$

где  $C_e$  — себестоимость машино-часа работы машины, продолжительность рабочей смены, час;  $Z_\Gamma$  — годовые затраты, на амортизационные отчисления на полное восстановление и на капитальный ремонт, руб;  $T_\Gamma$  — максимальное количество машино-смен работы установки в году.

Годовые затраты  $\Gamma$  определяются по формуле (3):

$$Z_\Gamma = \frac{M_{(i)} \cdot A \cdot 1,1}{T_\Gamma} \quad (3)$$

где  $A$  — амортизационные отчисления, %;  $M_{(i)}$  — инвентарно-расчетная стоимость машины, руб.

Максимальное количество машино-смен работы установки в году  $T_\Gamma$  определяется по формуле (4):

$$T_\Gamma = N_{\text{сут}} \cdot 4 \cdot N_{\text{нед}} \cdot N_{\text{год}} \quad (4)$$

где  $N_{\text{сут}}$  — количество рабочих смен в сутки,  $N_{\text{нед}}$  — количество рабочих дней в неделю,  $N_{\text{год}}$  — количество рабочих месяцев в году.

Продолжительность работы машины на объекте  $T$  определяется по формуле (5):

$$T = \frac{n}{\Pi} \quad (5)$$

где  $n$  — количество погружаемых свай,  $\Pi$  — сменная производительность агрегата.

Единовременные расходы  $E$  определяются по формуле (6):

$$E = m \cdot a \cdot \frac{L_n}{g} \quad (6)$$

где  $m$  — полная масса установки, т;  $g$  — грузоподъемность платформы для перевозки машин и механизмов, т;  $a$  — ставка на перевозку крупных грузов, руб./км.,  $L_n$ .

Условная годовая прибыль для установок устройства свай длиной 12 м. и с учетом перебазировки механизмов ежемесячно, которая рассчитывалась по формуле (7):

$$P_{\text{усл}} = (T_{\Gamma} \cdot 12 \cdot C_{\text{м.см.усл.}}) + (12 \cdot E) - \Gamma \quad (7)$$

В расчет приняты следующие установки для погружения свай: сваевдавляющая установка СВУ-В-6; копровая установка СП49 в связке с молотом СП6 (5т).

Вторичные данные для расчета сведены в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2

## Вторичные данные для расчета

Параметры	Обоснование	Усл. обознач.	Ед. изм.	Сравниваемая техника		
				СВУ-В-6	СП49 в связке с молотом СП6 (5т)	УБМ-85
Стоимость	Анализ рынка	$M_i$	руб.	10000000	7000000	7800000
Себестоимость эксплуатации	ТСН 2001.2	$C_e$	руб/час	92,33	123,31	76,25
Сменная производительность	Технич. хар-ки.	П	шт/см.	30	30	18
Полная масса	Технич. хар-ки.	м	т.	112	30	3,5
Грузоподъемность платформы для перевозки машин и механизмов	Технич. хар-ки.	g	т.	Трал, 65т.	Негабарит, 35т.	Не требуется
Средняя ставка на перевозку крупных грузов	Анализ рынка	a	руб./км	100	75	50*
Дальность перебазировки	Условно	$L_{\Pi}$	км.	50	50	50
Продолжительность рабочей смены	Условно	c	час.	8	8	8
Амортизационные отчисления	Условно	A	%	25	25	25
Количество рабочих смен в сутки	Условно	$N_{\text{сут}}$	см.	3	2	2

Количество рабочих дней в неделю	Условно	$N_{\text{нед}}$	дн.	5	5	5
Количество рабочих месяцев в году	Условно	$N_{\text{год}}$	мес.	12	12	12

*Примечание:* В расчёт приняты распространённые машины в своем сегменте и средние цены по рынку за начала 2018 года. Механизмы могут погружать сваи длиной до 12 м. и сечением  $d = 0,35$  см. Доставка не требуется для самоходной установки.

Таблица 3

## Вторичные данные для расчета

Параметры	Усл. об	Ед. изм.	Сравниваемая техника		
			СВУ-В-6	СП49 в связке с молотом СП6 (5т)	УБМ-85
Годовые затраты, связанные с амортизационными отчислениями	$Z_{\Gamma}$	руб./год.	2750000	1925000	2145000
Максимальное количество маш-см работы установки в году	$T_{\Gamma}$	см./год.	720	480	480
Себестоимость машино-смены	$C_{\text{м. см.}}$	руб/см.	4558,08	4996,9	4628,3
Условная рыночная стоимость маш-смены	$C_{\text{м. см. усл.}}$	руб/см.	5241,79	5746,43	5322,54
Продолжительность работы машины на объекте	$T$	см.	$n/30$	$n/30$	$n/18$
Производительность за год	$Q$	шт/год	21600	9600	5760
Единовременные расходы по доставке машин	$E$	руб.	5000	3750	2500
Условная годовая прибыль	$\Pi_{\text{усл.}}$	руб.	42479082	31129465,6	28482859,2

## Результаты расчета

Таким образом, по результатам расчета (табл. 3) общая стоимость работ выражается зависимостью:

Для СВУ-В-6, формулой (8):

$$C = 4558,08 \cdot \frac{n}{30} + 8615,38 \quad (8)$$

Для СП49 в связке с молотом СП6 (5т), формулой (9):

$$C = 4996,9 \cdot \frac{n}{30} + 4375 \quad (9)$$

Для УБМ, формулой (10):

$$C = 4628,3 \cdot \frac{n}{18} + 2500 \quad (10)$$

Графическое отображение зависимостей, получено с помощью ЭВМ, представлено в виде графиков (рис. 2)

## Выводы

Анализ результатов данных, полученных с помощью ЭВМ, показал, что при прочих равных условиях, использование сваевдавливающей установки или метода погружения свай забивкой становится эффективным по стоимости при объемах работ до 150 свай на одной строительной площадке.

С точки зрения временных затрат, забивной метод имеет среднее значение стоимости и продолжительности выполнения работ среди анализируемых установок, и начинает выигрывать у УБМ-85 уже после 1 дня эксплуатации (рис. 2), но уступает сваевдавливающей установке, так как последняя имеет возможность работать 24 часа в сутки, тогда как забивку свай запрещено производить в населенных пунктах с 23 до 7 часов, требования которого прописаны в ФЗ «О тишине», ввиду высокого уровня шумового воздействия. Поэтому метод забивки нельзя использовать в 3 смены. Однако и СВУ имеет определенную специфичность — она не может быть доставлена на объект в собранном виде, так как требует сборки на площадке. Поэтому СВУ экономически не целесообразно применять при малых объемах строительства. УБМ можно применять для малых объемов строительства, но область применения будет ограничена, и поэтому на больших объектах и большом объеме работ применение будет не целесообразно.

Как видно из рис. 2 и рис. 3, при малых объемах работ лучшими показателями трудовых затрат и стоимости работ обладают метод забивки и завинчи-

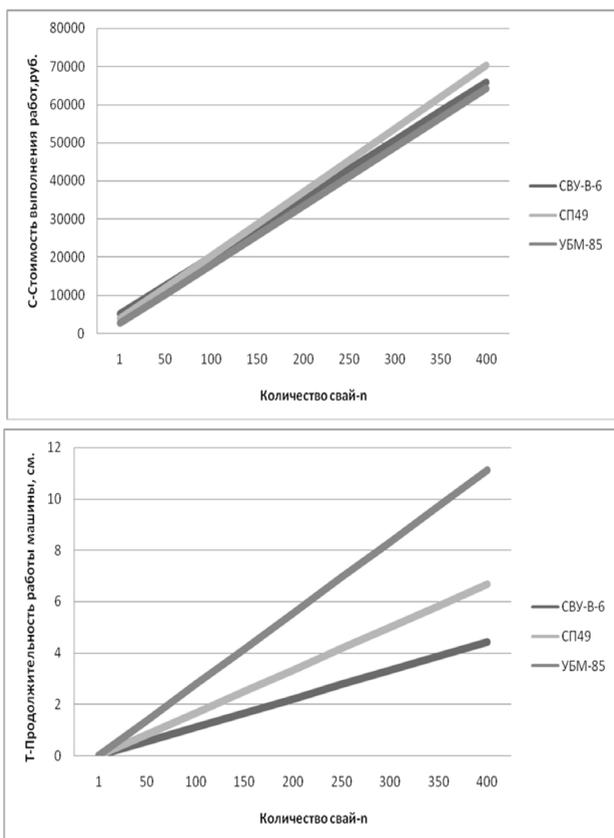


Рис. 2. Зависимость стоимости выполнения работ от объемов работ.  
Зависимость продолжительности выполнения работ от объемов работ

вания. Тем не менее, в тесной застройке невозможно будет использовать метод забивки, а будет предпочтительным два других метода: завинчивание — при условии не сложного строительства объекта с использованием свай длиной до 12 м; метод вдавливания — при условии большого объема работ и тесной застройки. Во всех иных случаях, как показал расчет, целесообразно использовать метод забивки свай.

#### Литература:

1. Мангушев, Р.А., Ершов А.В., Осокин А.И. Современные свайные технологии: учеб. пособие СПб: СПбГАСУ, 2010. 240 с.

2. Кузнецов, С. М. Теория и практика формирования комплектов и систем машин в строительстве: Монография: Директ-Медиа, 2015. 271 с.
3. Е. О. Ержаковский, Д. Н. Сурсанов. Оценка применимости метода статического погружения свай при строительстве свайных фундаментов // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии № 8. Пермь: ПНИПУ, 2017. 13 с.
4. Шипилова, Н. А. Теория и практика производства свайных работ: Монография: М. — Берлин: Директ-Медиа, 2016. 128 с.
5. Бочкарева, Т. М. Технология строительных процессов классических и специальных методов строительства: учеб. пособие. Пермь: ПНИПУ, 2014. 254 с.

# НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

## Обеспечение безопасности процесса переработки газового конденсата

Бакаленко Артур Сергеевич, студент;  
Шингаркина Ольга Викторовна, кандидат технических наук, доцент  
Уфимский государственный нефтяной технический университет

*В статье рассмотрены возможные аварийные ситуации, которые могут возникнуть при переработке газового конденсата, их опознавательные признаки и оптимальные способы противоаварийной защиты. Для предотвращения данных аварийных ситуаций предложено использовать систему прогнозирования и оценки безопасности ОПО с использованием комплексной модели обеспечения безопасности.*

**Ключевые слова:** *газовый конденсат, стабилизация, аварийные ситуации, безопасность, опасный производственный объект, прогнозирование.*

**Key words:** *gas condensate, stabilization, emergencies, safety, hazardous production facilities prediction, forecasting.*

Газоперерабатывающие предприятия относятся к промышленным объектам повышенной опасности и отличаются высокой аварийностью эксплуатируемых объектов, несовершенством систем управления технологическими процессами и противоаварийной защиты, износа оборудования.

Анализ характера и причин аварий в данной отрасли [1] показывает, что в последнее десятилетие большинство из них (около 95%) связано со взрывами: 54% в аппаратуре, 46% в производственных зданиях и на открытых технологических площадках. Статистика показывает, что из общего количества взрывов в 42,5% случаев происходят взрывы сжиженных углеводородных

газов. При залповых выбросах горючих 7 % не сопровождаются воспламенением, 35 % завершаются взрывами, в 23 % случаев взрывы сочетаются с пожарами, 34 % сопровождаются только пожарами.

На основании анализа результатов технического расследования аварий на предприятиях отрасли [2] выявлены следующие основные причины и условия возникновения и развития аварий:

- пожаро-взрывоопасные свойства применяемого сырья, конечных и побочных продуктов;
- аппаратное оформление — наличие на установке аппаратов, находящихся под давлением, высокая плотность расположения оборудования, значительные объёмы взрывоопасных материалов, находящихся в аппаратах;
- ведение процесса при сравнительно высоких давлениях (до 1,6 МПа) и высоких температурах (до 250 °С);
- выход параметров технологического процесса за критические значения изменения давления, температуры, уровня жидкости, состава сырья, дозы и скорости подачи сырья;
- нарушение герметичности оборудования;
- неисправность средств регулирования и противоаварийной защиты процессов;
- непрофессиональные и ошибочные действия обслуживающего персонала, в том числе при проведении сварочных и ремонтных работ, неудовлетворительная ревизия состояния оборудования и трубопроводов;
- нарушение правил технической эксплуатации, а также некомпетентность при принятии решений в экстремальных ситуациях;
- невыполнение на предприятиях графиков планово-предупредительного ремонта оборудования, некачественный монтаж или ремонт оборудования;
- вероятность появления источника воспламенения.

Процесс переработки газового конденсата является пожаро- и взрывоопасным в связи с тем, что он связан с проведением процесса ректификации при повышенных температурах и давлении, а его продуктами являются пары углеводородов, большинство из которых имеют низкую температуру вспышки и в результате взаимодействия с кислородом воздуха образуют смеси, взрывающуюся при наличии огня или искры.

Сущность процесса заключается в стабилизации конденсата с получением углеводородных газов, сжиженной пропан-бутановой фракции (ПБФ) и стабильного конденсата — газового конденсата, получаемого путем очистки нестабильного газового конденсата от примесей и выделения из него углеводородов С-С [3]. На рисунке 1 представлена схема одного из технологических блоков установки стабилизации конденсата.

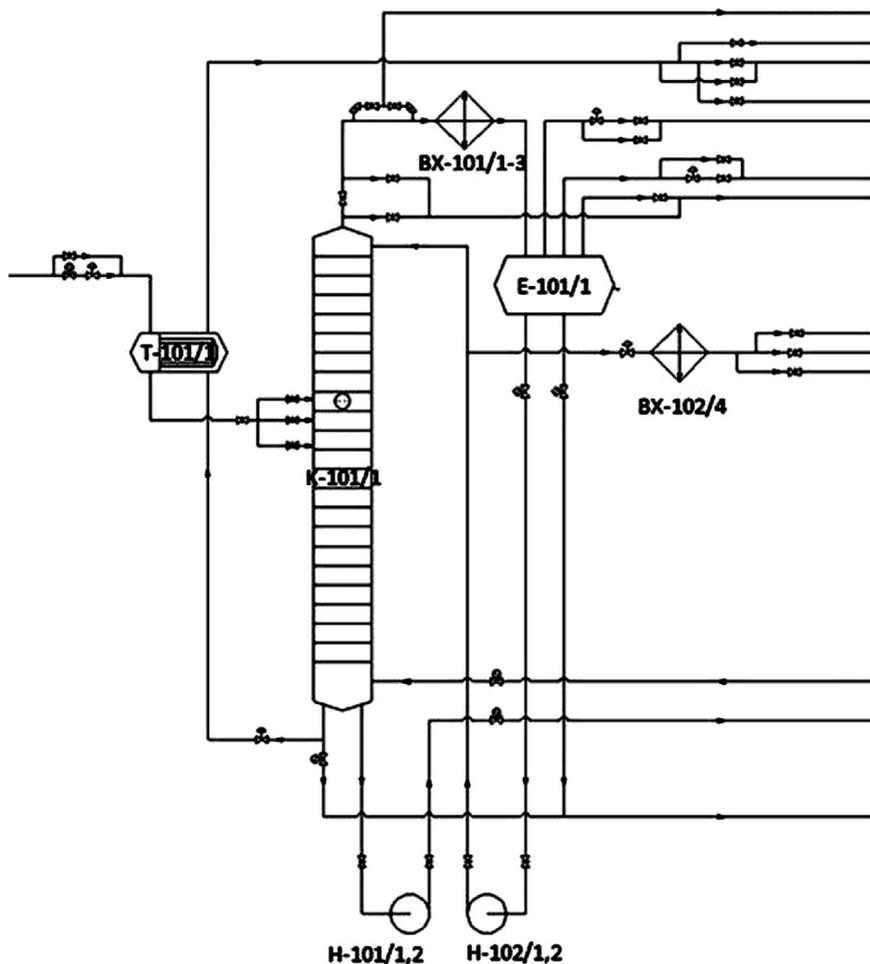


Рис. 1. Схема технологического блока установки стабилизации конденсата:

Т – 101/1 – теплообменник, К – 101/1 – ректификационная колонна,  
 ВХ – 101/1-3, ВХ – 102/4 – холодильники, Е-101/1 – емкость орошения,  
 Н-101/1,2, Н-102/1,2 – насосы

В ходе изучения эксплуатационной документации подобных объектов были выявлены возможные аварийные ситуации, которые могут возникнуть при осуществлении данного процесса:

— выход параметров процесса за предельно допустимые значения.

— разгерметизация оборудования через торцовые и сальниковые уплотнения, фланцевые соединения, разгерметизация колонной и емкостной аппаратуры, змеевиков печей.

— выброс продукта из разрушенных аппаратов, трубопроводов с образованием взрывоопасного облака

— пожар

— взрыв парогазовоздушной смеси

Ключевая роль в обеспечении безопасности от возможных аварий отводится системам противоаварийной защиты, позволяющим проводить постоянный мониторинг наиболее важных зон объекта, а в критических ситуациях выполнять необходимые действия для предотвращения серьезных последствий.

Система противоаварийной защиты является компонентом распределенной системы управления (РСУ), которая в свою очередь является компонентом автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) опасного производственного объекта (ОПО).

Система противоаварийной защиты предназначена для предупреждения и предотвращения аварийных ситуаций, которые могут возникнуть во время технологических процессов как в результате влияния человеческого фактора, так и из-за сбоев в работе оборудования.

Она строится на специально сертифицированных для таких целей моделях программируемых контроллеров. Контроллеры имеют дублированную архитектуру, что в несколько раз повышает отказоустойчивость оборудования отвечающее за предотвращение аварийных ситуаций.

В случае возникновения опасности развития аварийной ситуации контроллеры противоаварийной защиты реализуют алгоритмы по предотвращению аварийных ситуаций в соответствии с правилами локализации аварийных, принятыми на предприятии.

Система противоаварийной защиты параллельно с основной системой автоматизированного управления следит за состояниями аварийных сигнальных датчиков. В случае срабатывания которых система ПАЗ разрывает управление задвижками и двигателями от основной автоматизированной системы управления, в результате чего они останавливаются или закрываются.

Не меньшую роль в обеспечении промышленной безопасности в нефтегазоперерабатывающей отрасли имеет прогнозирование возможных аварийных ситуаций с дальнейшим их предупреждением.

Современным способом решения данной задачи является внедрение системы прогнозирования и оценки безопасности опасного производственного объекта (ОПО) с использованием комплексной модели обеспечения безопасности [4]. На рисунке 2 представлена схема осуществления системы прогнозирования и оценки безопасности ОПО.

Данная система включает рабочую станцию оператора с программным обеспечением, позволяющим строить комплексную модель обеспечения безопасности, производить расчеты показателей безопасности, риска и эффективности, сервер, сеть передачи и сбора информации, контроллеры ввода-вывода информации, коммутатор, сервер АСУ ТП, подключенный к системе через локальную вычислительную сеть объединенной расчетной системы; инженерно-технические системы обеспечения безопасного функционирования объекта, подключенные через модули ввода-вывода, блок сбора и обработки информации по режимам функционирования и параметрам технологического процесса, блок сбора и обработки информации по показателям надежности функционирования элементов РСУ, АСУ ТП, ПАЗ, технологического оборудования, блок сбора и обработки информации по опасным составляющим объекта, авариям и аварийным инцидентам, база данных по проектным решениям, база данных по комплексной модели обеспечения безопасности; база данных по показателям надежности, база данных по опасным составляющим объекта, блок моделирования, расчетный блок, блок анализа и оценки результатов моделирования и расчета показателей; блок выработки альтернативных технических решений и блок принятия решений.

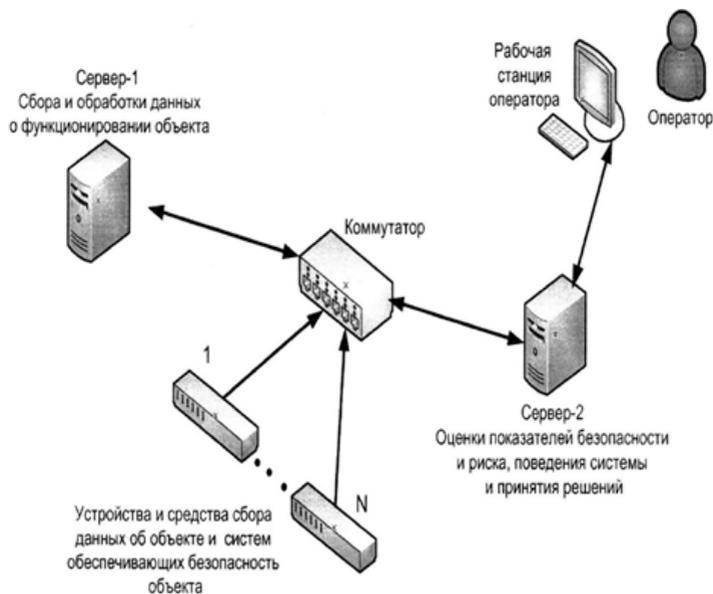


Рис. 2. Схема осуществления системы прогнозирования и оценки безопасности ОПО с использованием комплексной модели обеспечения безопасности

Данный способ относится к автоматизированным системам управления безопасностью опасного производственного объекта и может быть использован на всех этапах жизненного цикла объекта, а именно при проектировании, строительстве, эксплуатации и ликвидации опасного производственного объекта.

Система отличается тем, что анализ надежности, безопасности и эффективности функционирования опасного производственного объекта осуществляется с помощью общего логико-вероятностного метода (ОЛВМ). В блоках сбора и обработки информации обработка данных осуществляется с помощью единых алгоритмов, адаптированных к специфике конкретного опасного производственного объекта и с учетом имеющейся у проектировщика дополнительной информации о свойствах проектируемой системы опасного производственного объекта.

Техническим результатом изобретения является оценка состояния безопасности объекта на основе анализа расчетов показателей безопасности и риска и выработка рекомендаций по проведению мероприятий, направленных на снижение вероятности возникновения аварий и масштабов их последствий.

В результате прогнозирования и оценки показателей безопасности выбирается наиболее безопасный вариант проектных решений и утверждается комплексная модель обеспечения безопасности, которая будет сопровождать объект на последующих этапах жизненного цикла [4].

Таким образом, внедрение данной системы позволит минимизировать риск возникновения аварий на опасном производственном объекте, даст возможность своевременно выявить «слабые места» в обеспечении промышленной безопасности, а также провести необходимые мероприятия, направленные на предупреждение аварий и несчастных случаев.

## Литература:

1. Егоров, А. Ф., Савицкая Т. В. Анализ риска, оценка последствий аварий и управление безопасностью химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. — М.: КолосС, 2013. — 526 с.:
2. Васильев, П. П. Безопасность жизнедеятельности. М.: ЮНИТИ, 2003. — 188 с.
3. ГОСТ Р 54389—2011 Конденсат газовый стабильный. Технические условия
4. Патент РФ № 2013135966/08, 30.07.2013 Ганченко Павел Владимирович, Ибадулаев Даниил Владиславович, Космичев Василий Павлович, Лузанов Виктор Федорович, Обломский Сергей Борисович,

Степанов Илья Владимирович. Система прогнозирования и оценки безопасности опасного производственного объекта с использованием комплексной модели обеспечения безопасности//Патент Российской Федерации № 2549514

# Технологии. Техника. Инженерия

Международный научный журнал  
№ 1 (11) / 2019

Выпускающий редактор Г. А. Кайнова  
Ответственный редактор Е. И. Осянина  
Художник Е. А. Шишков  
Подготовка оригинал-макета П. Я. Бурьянов

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

Журнал размещается и индексируется на портале eLIBRARY.RU,  
на момент выхода номера в свет журнал не входит в РИНЦ.

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый»  
Номер подписан в печать 5.02.2019. Дата выхода в свет: 10.02.2019.  
Формат 60 × 90/16. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Почтовый адрес редакции: 420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.  
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.