

ISSN 2072-0297

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



21
ЧАСТЬ I
2022

16+

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 21 (416) / 2022

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Редакционная коллегия:

Жураев Хусниддин Олгинбоевич, 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)
Кайгородов Иван Борисович, кандидат физико-математических наук (Бразилия)
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 Азиз Боситович, доктор философии (PhD) по педагогическим наукам (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)
Досмубетов 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, 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)
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 Дилшоода 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 *Дэвид Джулиус* (4 ноября 1955 г.) — американский физиолог.

Получил известность как исследователь ноцицепции и терморцепции (возникновения ощущений боли и тепла). Лауреат Нобелевской премии по физиологии или медицине за 2021 год совместно с Ардемом Патапутяном «за открытие рецепторов температуры и прикосновения».

Дэвид родился в нью-йоркском районе Брайтон-Бич в семье еврейских эмигрантов из России. Там же окончил среднюю школу Авраама Линкольна. Отец его был инженером, мать — учителем начальных классов.

В 1977 году получил степень бакалавра в Массачусетском технологическом институте (MIT), в 1984 году — степень доктора философии в Калифорнийском университете в Беркли. В 1989 году завершил свою постдокторскую подготовку у Ричарда Акселя в Колумбийском университете, где клонировал и охарактеризовал рецептор серотонина 1с.

С 1990 года Дэвид Джулиус работает в Калифорнийском университете в Сан-Франциско.

Каким образом наш организм реагирует на окружающую среду? Еще в XVII веке философ Рене Декарт предположил, что отдергивать руку от огня человеку позволяют «нити», соединяющие различные части кожи с мозгом. Частицы тепла, перемещаясь по ним, передают таким образом механический сигнал. В XIX веке ученые уже смогли показать, что определенные чувствительные участки на коже реагируют на определенный тип воздействия, будь то прикосновение, жар или холод.

В конце 1997 года был обнаружен молекулярный механизм, позволяющий трансформировать физическое явление в нервный импульс. Но лишь сравнительно недавно ученые Дэвид Джулиус и Ардам Патапутян открыли сами молекулы-рецепторы, которые и запускают биохимические реакции, приводящие к ощущениям тепла, холода или касаний.

Дэвид Джулиус использовал капсаицин, едкое соединение перца чили, которое вызывает ощущение жжения, чтобы идентифицировать рецептор в нервных окончаниях кожи, реагирующий на тепло. Ардем Патапутян использовал клетки, чувствительные к давлению, чтобы открыть новый класс рецепторов, которые реагируют на механические раздражители в коже и внутренних органах.

Объединены эти открытия потому, что природа таких рецепторов оказалась общей — это ионные каналы, которые активируются в ответ на физическое воздействие — температуру или механическое натяжение мембраны.

Джулиус — член Американской академии искусств и наук, иностранный член Венгерской академии наук. Кроме Нобелевской, является лауреатом еще целого ряда престижных научных премий, таких как премия принца Астурийского, премия Шао по медицине и наукам о жизни, премия Пола Янссена за биомедицинское исследование, международная премия Гайрднера, премия Розенстила и т.д.

Екатерина Осянина, ответственный редактор

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Хайруллин С. О.**
Математическая постановка задачи маршрутизации снегоуборочных машин со штрафами за поворот.....1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Александров К. Н.**
Работа сталефибробетона на местные нагрузки . 5
- Алиев М. Х.**
Обзор проблем спуска обсадных колонн..... 9
- Алиева М. А.**
Управление наклонно-направленным бурением глубоких скважин..... 12
- Ахметов А. Т., Сагындыкова Ш. Н.**
Структурная и параметрическая идентификация котельного агрегата как многомерного объекта. 14
- Бактигалиев М. Б.**
Обзор автоматизированных систем контроля зольности и зашлакованности котлов..... 17
- Гафаров И. Г., Максимов Р. А., Желтухин В. С., Шемахин А. Ю.**
Распределение плотности тока в ВЧ-разряде в условиях динамического вакуума.....18
- Захаркина Е. И.**
Анализ свободных колебаний в вибровязкозаметрическом датчике23
- Исмаилзаде Т. В.**
Обзор проблем прихвата трубы и его прогнозирования 27
- Кононенко А. Е.**
Исследование влияния вида пробиотической закваски на потребительские свойства напитка30

- Кононенко А. Е.**
Направленная ферментация молока при получении кисломолочного напитка35
- Садыгова А. Э.**
Постановка задачи исследования процессов для надежной герметизации скважин38
- Салманзаде Х. Д.**
Обзор типов горизонтальных скважин.....40
- Сивопляс М. А.**
Подход к расчету вероятности нерегламентированного воздействия на технику во время технического обслуживания43
- Трощак А. А., Пепеляев А. М.**
Исследование соединений деревянных конструкций в модульных зданиях..... 47

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

- Варенко Л. С.**
Оценка эффективности работы сооружений для механической очистки и их реконструкция на примере города в Иркутской области.....49
- Кадырхан Д. С.**
Особенности территориального зонирования населенных пунктов Мангистауской области Республики Казахстан53
- Лушникова К. М., Валуйская Н. В.**
Возможность реновации внешнего облика советских хрущевок.....56
- Михеев В. В.**
Исследование влияния длины сцепления ФАП с бетоном на несущую способность железобетонных изгибаемых элементов, усиленных внешним армированием на примере железобетонной балки 60

Суходолов М. В.

Важность учета нелинейных свойств материалов
составного сечения сталежелезобетонных
конструкций 63

Трофимов Д. С., Суходолов М. В.

Исследование численной модели монолитного
перекрытия по металлическим балкам
в ПК Ansys..... 70

Трофимов Д. С.

Исследования работы монолитного перекрытия
по металлическим балкам с нарушенным
сцеплением при помощи численной модели..... 73

Шестернин И. А.

Устройство бетонных полов из
самоуплотняющегося бетона..... 78

МАТЕМАТИКА

Математическая постановка задачи маршрутизации снегоуборочных машин со штрафами за поворот

Хайруллин Сергей Олегович, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный экономический университет

В работе приводится описание задачи маршрутизации снегоуборочных машин со штрафами за поворот, а также представлена авторская математическая постановка для решения данной задачи.

Ключевые слова: маршрутизация, граф, математическая постановка, остовное дерево.

Взимнее время распространенной задачей является определение оптимального маршрута снегоуборочных машин, чтобы минимизировать пройденное ими расстояние. Обычно она представлена как задача дуговой маршрутизации, которая стремится найти маршрут минимальной длины, пересекающий требуемые дуги графа G . В рамках данной работы мы учитываем, что во время движения снегоуборщика предпочтительнее определенный тип поворота на перекрестке. Поворот направо или движение прямо часто предпочтительнее, потому что это занимает меньше времени, безопаснее и в случае движения с уборкой снега, не приводит к его попаданию на центр перекрестка. Левые повороты и развороты часто не рекомендуются, так как они занимают больше времени и сдвигают снег на центр перекрестка [1, 2].

Рассмотрим граф $G = \{V, E\}$, где множество вершин $V = \{v_i\}$ и множество ребер $E \subseteq \{(v_i, v_j) \mid v_i, v_j \in V, i < j\}$. Каждое ребро (v_i, v_j) имеет четыре стоимости: $d_{i,j}^{yes}$ — стоимость уборки улицы от v_i до v_j , $d_{j,i}^{yes}$ — стоимость уборки улицы от v_j до v_i , $d_{i,j}^{not}$ — стоимость перехода от v_i к v_j без уборки снега и $d_{j,i}^{not}$ — стоимость перехода от v_j к v_i без уборки снега. Если предположить, что вершина v_j имеет большую высоту, чем вершина v_i , то обычно $d_{i,j}^{yes} > d_{j,i}^{yes} > d_{i,j}^{not} > d_{j,i}^{not}$. Мы ищем маршрут, который начинается и заканчивается в депо (v_0), дважды проезжаем с уборкой от снега по каждой необходимой улице (для каждой ее стороны) и сводим к минимуму суммарную стоимость маршрута [1, 3].

Чтобы сформулировать постановку, учитывающую штрафы за повороты, мы рассматриваем кроме графа G новый граф \hat{G} . Вместо дуг, представляющих движение от перекрестка i к перекрестку j , дуги \hat{G} представляют движение от перекрестка i к перекрестку j и поворот в сторону перекрестка t [1]. Проиллюстрируем это на рисунке 1.

Определим следующие переменные и константы для нашей постановки:

- $x_{i,j,t}$ — количество проездов с уборкой снега по дуге (i, j, t) ;
- $y_{i,j,t}$ — количество проездов по дуге (i, j, t) без уборки снега;
- $d_{i,j,t}^{yes}$ — стоимость проезда с уборкой снега по дуге (i, j, t) ;
- $d_{i,j,t}^{not}$ — стоимость проезда по дуге (i, j, t) без уборки снега;
- $z_{i,j} = 1$, если дуга (i, j) графа G входит в остовное дерево, иначе 0;
- $f_{i,j,t}$ - штраф за выполнение поворота по дуге (i, j, t) , $f_{i,j,t} \geq 1$;
- w_i - потенциал вершины v_i графа G ;
- \hat{A} - набор дуг графа \hat{G} ;
- E - набор ребер графа G ;
- S - количество снегоуборщиков;
- V - набор вершин графа G ;
- A - набор дуг графа G .

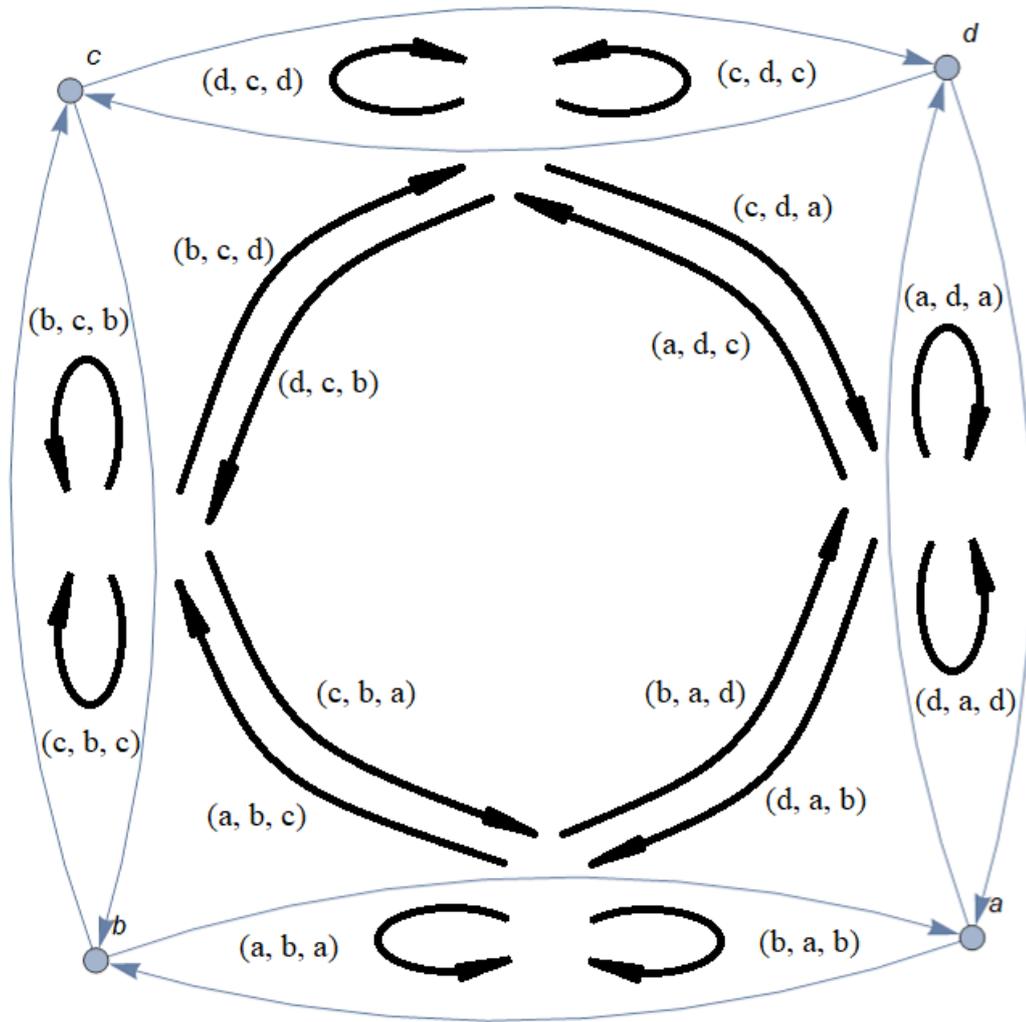


Рис. 1. Пример графа поворотов

Задача определяется следующим образом:

$$\left(\sum_i \sum_j \sum_t (f_{i,j,t} x_{i,j,t} d_{i,j,t}^{yes} + f_{i,j,t} y_{i,j,t} d_{i,j,t}^{not}) \right) \rightarrow \min \tag{1}$$

при условии выполнения следующих ограничений

$$\sum_{(0,j,t) \in \hat{A}} (x_{0,j,t} + y_{0,j,t}) \geq S \tag{2}$$

депо должно покинуть S машин

$$\sum_t x_{i,j,t} + \sum_t x_{j,i,t} = 2 \tag{3}$$

$\forall (i, j) \in E$

$$\sum_i \sum_t (x_{i,j,t} + y_{i,j,t}) = \sum_i \sum_t (x_{j,i,t} + y_{j,i,t}) \tag{4}$$

$\forall j$

$$\sum_t (x_{i,j,t} + y_{i,j,t}) \geq z_{i,j} \tag{5}$$

$\forall (i, j) \in A$

$$\sum_{(i,j) \in A} z_{i,j} \leq 1 \tag{6}$$

$\forall j$

$$w_j - w_i \geq |V|z_{i,j} - |V| + 1 \tag{7}$$

$\forall (i, j) \in A$

$$\sum_{(i,j) \in A} z_{i,j} = |V| - 1 \tag{8}$$

необходимо обеспечить целочисленность и неотрицательность переменных

$$x_{i,j,t} \geq 0, y_{i,j,t} \geq 0, w_i \geq 0, z_{i,j} \in \{0,1\} \tag{9}$$

$\forall (i, j, t) \in \hat{A}, \forall (i, j) \in A, \forall i \in V, x_{i,j,t} \in Z, y_{i,j,t} \in Z$

Целевая функция (1) минимизирует стоимость маршрута с учетом проездов по улицам как с уборкой снега, так и без нее. Изменение параметра $f_{i,j,t}$ может усилить или ослабить штрафы за поворот. Значение данного параметра всегда равняется единице для дуг, обозначающих повороты направо или прямые проезды через перекресток. Для дуг, обозначающих повороты налево или развороты на перекрестке, значение параметра может быть настолько больше единицы, насколько сильнее необходимо усилить штраф за данные повороты. Ограничение (2) требует, чтобы любой маршрут покидал депо по крайней мере S раз, гарантируя, что существует достаточное количество подциклов для распределения между S снегоуборщиками. Ограничение (3) вынуждает очищать каждую требуемую улицу дважды, по одному разу для каждой стороны. Ограничение (4) требует, чтобы полустепень исхода каждой вершины графа G была равна ее полустепени входа. Ограничение (5) необходимо для того, чтобы маршрут обязательно проходил по дугам, входящим в остовное дерево. Ограничение (6) требует, чтобы из каждой вершины остовного дерева выходило не более одной дуги. В ограничении (7) потенциалы вершин предотвращают образование подциклов в остовном дереве. Ограничение (8) необходимо, потому что в остовном дереве количество дуг на одну меньше количества вершин. Ограничение (9) обеспечивает неотрицательность и целочисленность переменных.

Ограничения (6, 7, 8) обеспечивают построение остовного дерева, которое необходимо вместе с ограничением (5) для обеспечения устранения несвязанных циклов. Проиллюстрируем это на рисунке 2.

На рисунке 2 (А) представлен граф. В нем выделенные дуги соответствуют улицам, которые необходимо проехать с уборкой от снега. Без ограничений (5, 6, 7, 8) маршрут распадется на 2 несвязанных цикла, так как мы минимизируем стоимость маршрута и дуги (4, 7), (7, 4) не являются обязательными для прохождения. На рисунке 2 (Б) представлено остовное дерево, связывающее эти два цикла в единый маршрут при помощи ограничения (5), которое заставляет включить в маршрут дуги, входящие в остовное дерево.

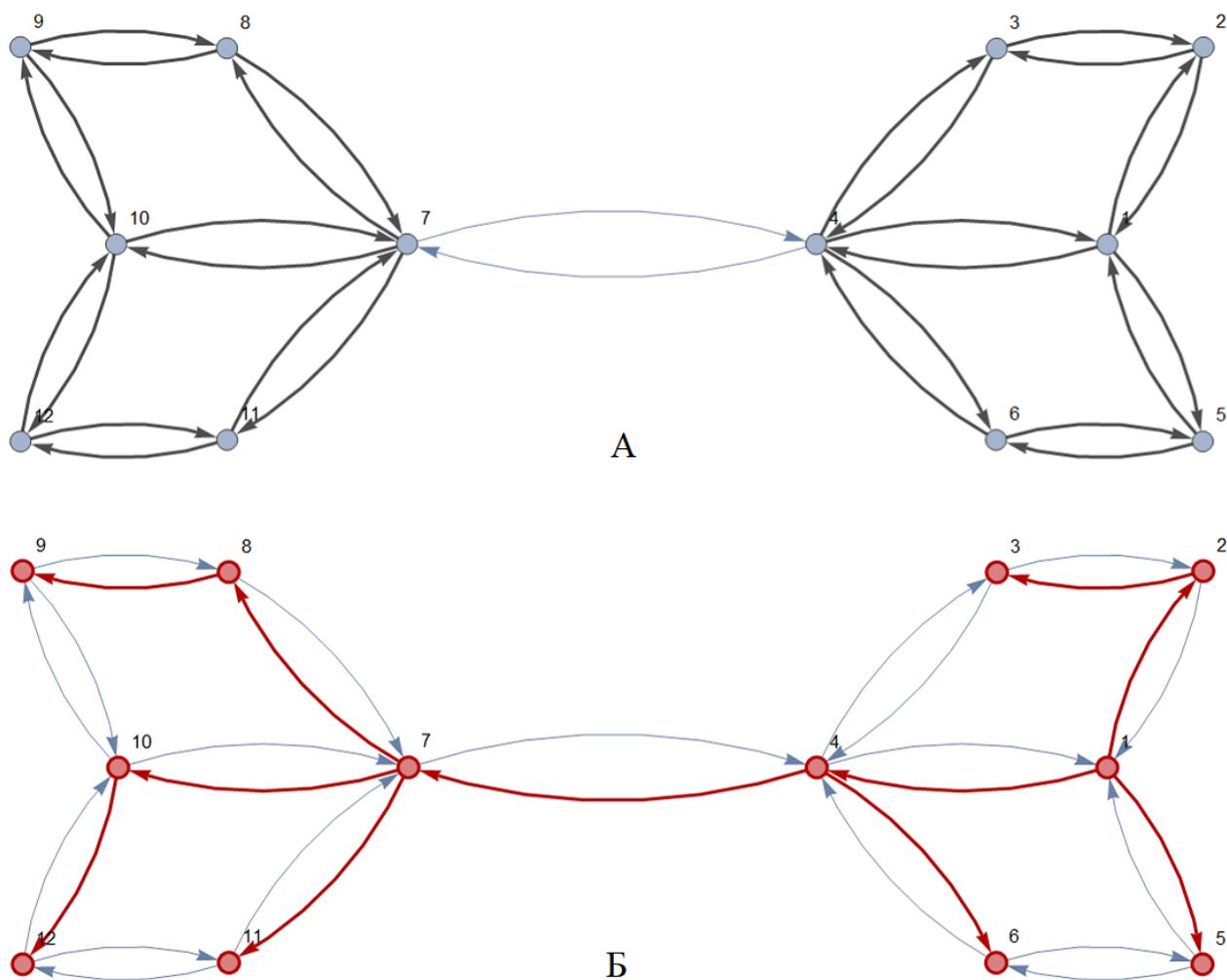


Рис. 2. Дуги графа, которые необходимо посетить с уборкой от снега (А) и остовное дерево (Б)

Литература:

1. Benjamin Dussault, Modeling and solving arc routing problems in street sweeping and snow plowing, 2012.
2. Carmine Cerrone, B. Dussault, Xingyin Wang, B. Golden, E. Wasil, A two-stage solution approach for the Directed Rural Postman Problem with Turn Penalties, 2019.
3. Michael Drexler, On the generalized directed rural postman problem, 2014.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Работа сталефибробетона на местные нагрузки

Александров Константин Николаевич, студент
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Вычислительная техника современности позволяет выполнить расчет различных строительных конструкций с учетом разного рода аспектов, таких, например, как учет нелинейных свойств материалов, условий закрепления и т. д. Задействовав метод конечных элементов, заложенный в нелинейном процессоре ПК «Лира-САПР 2017», автор в своей работе провел численный эксперимент, который может заменить натурный эксперимент, требующий куда больших временных и материальных ресурсов. Стоит помнить, что развитие методов математического моделирования строительных конструкций является одним из важнейших направлений современной строительной науки. Автором проведено численное исследование на конечно-элементных моделях, были получены схемы разрушения, распределения касательных напряжений и распределения деформаций по высоте нормального сечения сталефибробетонного элемента.

Ключевые слова: сталефибробетон, бетон, фибра, композиционный материал, бетон, конструкция.

Как известно по работам зарубежных и отечественных ученых, добавление стальной фибры меняет характер разрушения образцов. При образовании трещин при разрушающей нагрузке, опытный образец оставался целым. Из этого было выдвинуто предположение, что при срезе сталефибробетонной балки фибра так же будет влиять на возникающие внутренние усилия и работу конструкции в целом.

Суть эксперимента заключается в моделировании балки в плоской задаче. Как нам известно значение поперечной силы при расчете по наклонному сечению ж.б балки $Q=Q_b+Q_{sw}$. Согласно СП 360.1325800.2017 [1] расчет

ведется аналогичным образом, за исключением значения R_{fbt} . Целью моделирования является нахождения значений поперечной силы получаемой при использовании сталефибробетона вместо обычного бетона. Предположим, что $Q=Q_b+Q_{sw}+Q_f$. Предполагается получить значения касательных напряжений и, зная о прямой зависимости τ_x от Q , найти Q_f .

В качестве расчетной схемы принималась половина балки длиной 600 мм. От вертикальных перемещений по оси Z закреплялось нижнее сечение балки. Используемая расчетная схема представлена на рисунке 1.

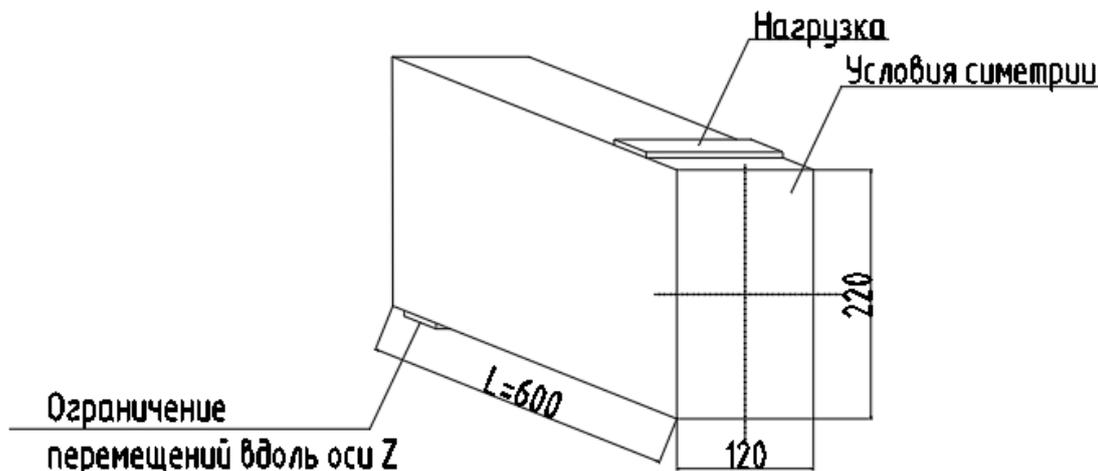


Рис. 1. Расчетная схема (рисунок авторов)

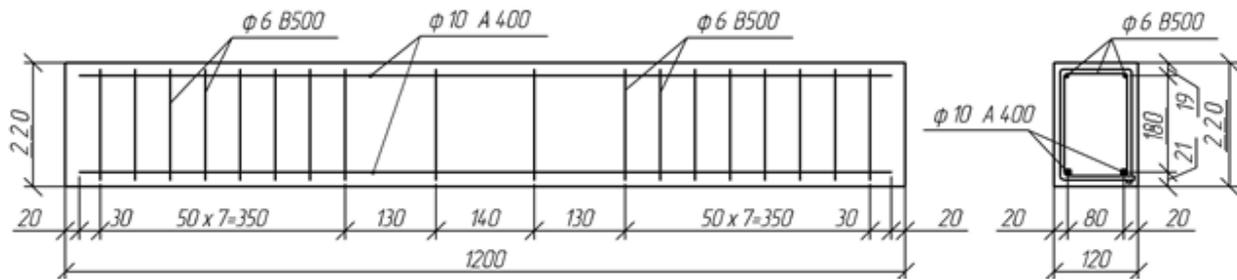


Рис. 2. Схема армирования балки (рисунок авторов)

Расчетная модель представляет собой однопролетную шарнирно-оперную балку. Нагрузка приложена в виде распределенных сил. Модель состоит из квадратных ко-

нечных элементов (КЭ) плоской задачи (балка — стенка) размерами — 5×5 мм, позволяющих моделировать плоское напряженное состояние.

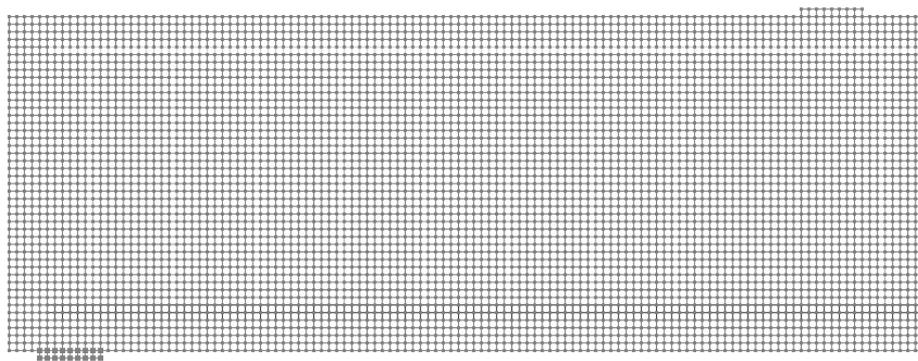


Рис. 3. Общий вид замоделированной балки (рисунок авторов)

Для того чтобы смоделировать сталефибробетон в нелинейной постановке были использованы следующие типы КЭ: для арматуры — КЭ тип 210 (физически нелинейный универсальный стержневой элемент), для сталефибробетона — тип 231 — физически нелинейный параллелепипед размерами 0,01x0,01x0,01 (м). Так же контакт окружающего фибробетона и арматуры считается абсолютный.

На балку прикладывалась нагрузка с шагом 10 кН передавалась через специальные грузораспределительные

пластины КЭ тип 41 с толщиной 50 мм, для них был принят упругий закон деформирования. При моделировании получили общее число КЭ — 5142, общее число узлов — 10922.

Задание сталефибробетона проводилось на основании экспериментальных данных, полученных в работе Евдокимовой Т. С. [2]. Рассматривалась различное количество добавляемой фибры от 1 % до 2 %.

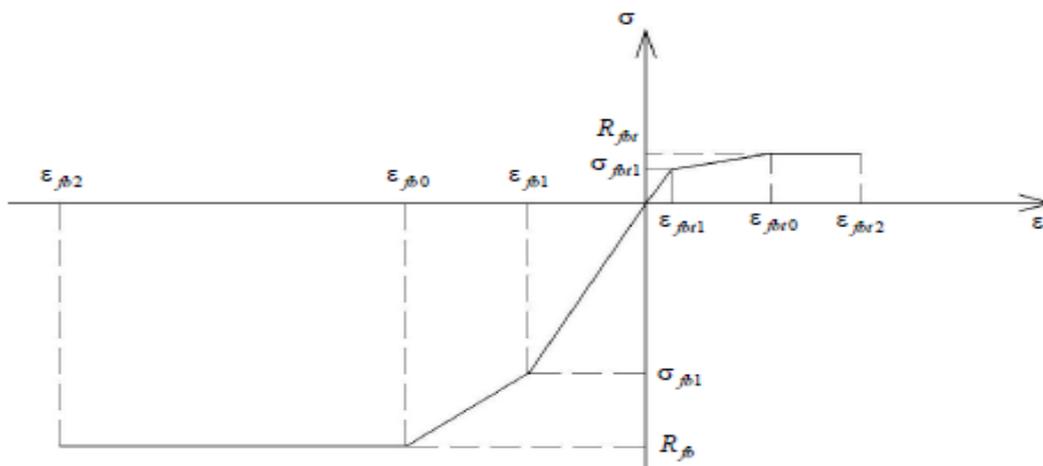


Рис. 4. Принятая диаграмма деформирования фибробетона

Где R_{fb} — расчетное сопротивление сталефибробетона на сжатие;

$\sigma_{fb1} = 0.7R_{fb}$ — напряжение в сталефибробетоне в точке излома диаграммы;

$\varepsilon_{fb1} = \frac{\sigma_{fb1}}{E_{fb}}$ — относительные деформации, соответствующие σ_{fb1} ;

ε_{fb0} — относительные деформации при осевом сжатии сталефибробетона;

ε_{fb2} — максимальные относительные деформации при сжатии;

R_{fbt} — расчетное сопротивление фибробетона на осевое растяжение.

$\sigma_{fbt1} = 0.7R_{fbt}$ — напряжение в фибробетоне в точке излома диаграммы;

$\varepsilon_{fbt1} = \frac{\sigma_{fbt1}}{E_{fb}}$ — относительные деформации, соответствующие;

ε_{fbt0} — относительные деформации при осевом растяжении сталефибробетона;

ε_{fbt2} — максимальные относительные деформации при растяжении.

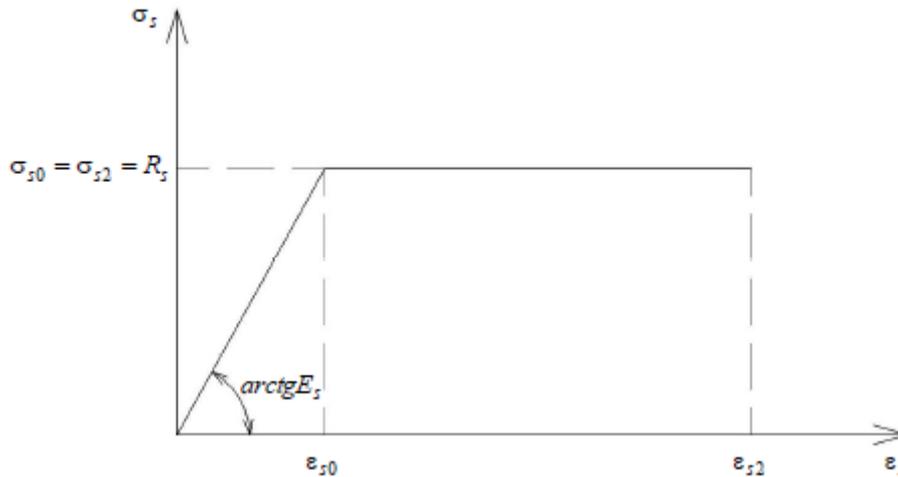


Рис. 5. Принятая диаграмма деформирования арматуры

Моделировались наклонные трещины с помощью расшивки узлов, на основании экспериментальных данных из работы Филатова В. Б. [3], после достижения в КЭ напряжений, превышающих $1,75R_{fbt}$ в момент образования, и R_{fbt} в процессе развития трещин. Данный способ моделирования трещин позволил образовывать трещины

в местах возникновения максимальных растягивающих напряжений и развивать их в соответствии с положением площадок главных растягивающих напряжений. Это позволило наиболее точно смоделировать напряжённое состояние сталефибробетона в вершине трещины и определить ее направление (рисунок 6).

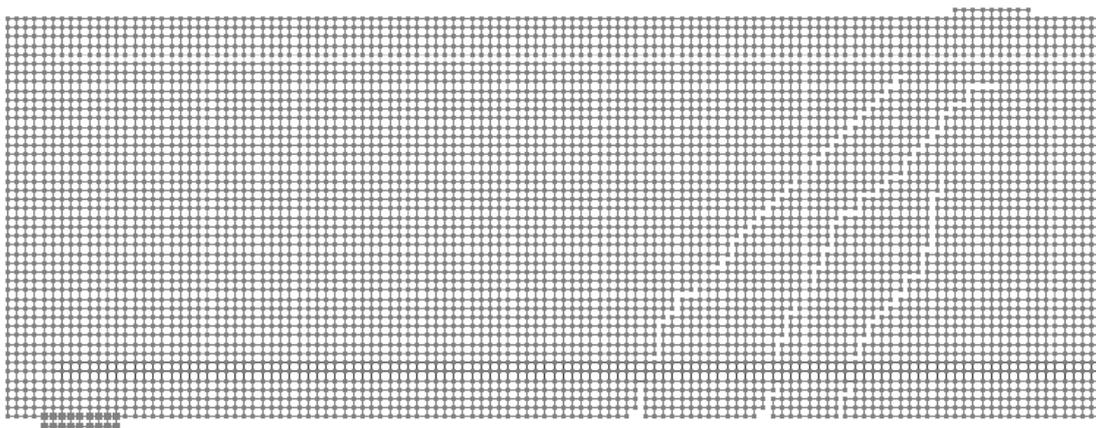
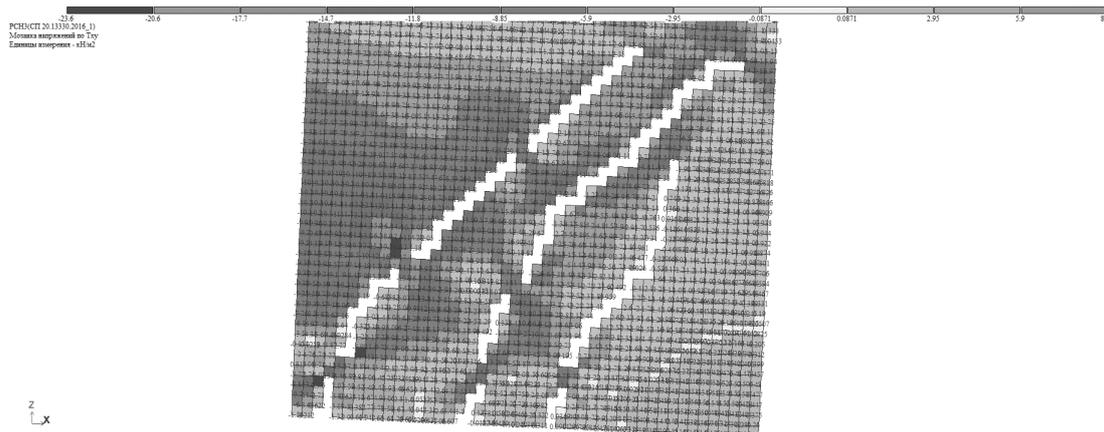


Рис. 6. Схема трещинообразования в сталефибробетонной балке (рисунок авторов)

В результате численного эксперимента автором были получены изополя напряжений, изополя перемещений.

С учетом принципа Сен-Венана изополя напряжений и перемещений рассматривались в зоне образовавшихся трещин.

Рис. 7. Пример полученных результатов τ_{xy} (рисунок авторов)**Вывод**

В данной работе проводилось сравнение значений τ_{xy} в зоне раскрытия трещин, а именно возникающих в арматуре. Так как касательные напряжения имеют прямую зависимость от поперечной силы, то исходя из полученных результатов работа сталефибробетонной балки с содер-

жанием фибры (1 %) улучшает работу на действие поперечных сил примерно на 27,2 %. С содержанием фибры (1,5 %) улучшает работу на действие поперечных сил примерно на 28,9 %. А вот с содержанием фибры (2 %), наоборот, видим ухудшение до 26,5 %. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Номер участка	Значения τ_{xy} , кН/м ² Бетон В25	Значения τ_{xy} , кН/м ² Фибра 1 %	Значения τ_{xy} , кН/м ² Фибра 1,5 %	Значения τ_{xy} , кН/м ² Фибра 2 %
1	15,9	17,4	17,4	17,5
2	22,8	11,2	10,8	11,3
3	12	10,9	10,8	11
4	13,4	8,79	8,59	8,86
5	12,5	9,16	9,06	9,21
6	9,38	11,1	11,1	11,1
7	14,9	8,35	8,04	8,41
8	8,63	9,09	9,08	9,16
Среднее значение	13,68	10,75	10,61	10,81
%	-	27,2 %	28,9 %	26,5 %

Литература:

1. Свод правил СП 360.1325800.2017. Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования. / АО «НИЦ «Строительство». М.: 2017.
2. Евдокимова Татьяна Сергеевна. Напряженно-деформированное состояние и расчет прочности кососжимаемых фиброжелезобетонных элементов: диссертация... кандидата Технические наук: 05.23.01 / Евдокимова Татьяна Сергеевна; [Место защиты: ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет], 2017. — 150 с.
3. Филатов, В. Б., Коваленко М. В. Моделирование работы сборно-монолитной железобетонной балки в зоне поперечного изгиба // Вестник Евразийской науки, 2020 № 3, <https://esj.today/PDF/57SAVN320.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

Обзор проблем спуска обсадных колонн

Алиев Мовсум Хафиз оглы, студент магистратуры
Научный руководитель: Шмончева Елена Евгеньевна, доцент
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (г. Баку)

Спуск обсадных труб в скважинах с большим углом наклона и большим отходом от вертикали часто признается одной из самых сложных операций по строительству скважин. В таких скважинах сопротивление трения и неподвижное механическое сопротивление в скважине могут превысить доступные значения. Возможность надежно прогнозировать условия спуска обсадной колонны значительно поможет снизить затраты в сложных скважинах. Известно, что между пробуренным стволом скважины и последующим спуском обсадной колонны существует сложная и часто неуправляемая взаимосвязь. Это зависит от многих факторов, которые влияют на результат операций спуска обсадной колонны. В статье рассматривается ряд условий, которые считаются ключевыми для понимания взаимосвязи между бурением и спуском обсадной колонны.

Ключевые слова: спуск обсадной колонны, качество ствола скважины, геометрия скважины, планирование скважины, коэффициенты трения.

Overview of Casing Running Problems

Aliyev Movsum Hafiz, student master's degree
Scientific adviser: Shmoncheva Elena Evgenjevna, docent
Azerbaijan State University of Oil and Industry (Baku)

Running casing in high-angle, high-reach wells is often recognized as one of the most difficult well construction operations. In such wells, friction drag and unexpected mechanical drag in the well may exceed the available values. The ability to reliably predict casing running conditions will greatly help reduce costs in complex wells. It is known that there is a complex and often elusive relationship between the drilled wellbore and the subsequent running of the casing string. It depends on many factors that affect the outcome of casing running operations. The article discusses a number of conditions that are considered key to understanding the relationship between drilling and running casing.

Keywords: casing running, wellbore quality, well geometry, well planning, friction coefficients.

Потребность в доступе к запасам углеводородов в условиях, требующих скважин с очень большим отходом от вертикали, будет продолжать расти. Вырастет доступ к морским запасам с близлежащих береговых участков или месторождений-спутников, которые считаются сейчас недоступными. Рекордные показатели отхода для скважин с увеличенным его значением в настоящее время превышают 10 км. Вполне вероятно, что такие достижения будут значительно превзойдены в течение следующих 5–10 лет. Недавними примерами сверхотходных скважин являются несколько 10-километровых скважин, пробуренных у острова Сахалин в России [1], 10-километровые рекордные скважины при разработке нефтяного месторождения Wytch Farm в Южной Англии [2], а также на месторождении Austral у Огненной Земли в Аргентине [3].

В будущем разработки с увеличенным отходом от вертикали вызовут потребность в надежных конструкциях скважин и высоконадежных технологиях для обеспечения их рентабельности. Особенностью таких конструкций скважин будет необходимость бурения и обсаживания скважины с увеличенной длиной по инструменту. В этом отношении одним из факторов успеха будет понимание взаимосвязи между пробуренным стволом скважины

и сопутствующим спуском обсадной колонны. Некоторые аспекты этой темы уже исследовались ранее, в ходе которых были разработаны различные руководства и методологии [4], [5] и [6].

Часто проблемы бывают связаны с различным поведением буровой компоновки и обсадной колонны при взаимодействии со стволом скважины. Часть объяснения можно свести к следующим четырем основным проблемам:

1. Качество ствола скважины,
2. Геометрия скважины
3. Практика подготовки скважины и спуска обсадной колонны
4. Планирование скважин и интерпретация данных в режиме реального времени.

Наиболее распространенными атрибутами, связанными с **качеством ствола скважины**, являются извилистость и спиральность [7]; эффекты, которые в первую очередь зависят от конструкции КНБК и долота, а также от характеристик наклонно-направленного бурения. Однако качество ствола скважины выходит за рамки этого и должно учитывать такие эффекты, как слой остаточного шлама, сужение ствола скважины, потеря циркуляции и уступы.

Влияние толщины фильтрационной корки становится значительным в ситуациях с ограниченным зазором, когда возникает больший контакт между обсадной колонной и стволом скважины. В таких ситуациях повышается вероятность дифференциального прихвата. Смягчением дифференциального прихвата является интенсивное использование центраторов для увеличения зазора между обсадной колонной и стволом скважины.

Другие проблемы связаны с тем, что очистка скважин не была эффективной, несмотря на хорошие показатели и наблюдается наличие обширного слоя шлама.

Геометрия конструкции скважины включает в себя выбор размера скважины и обсадной трубы; влияние конструкции колонн и соединений, а также влияние стратегии централизации.

Понимание того, какой диаметр ствола необходим для данного диаметра обсадной трубы, является давней проблемой. В прошлом традиционный выбор обсадной колонны и размера долот часто приводил к определенным проблемам при спуске. Однако с появлением более надежных технологий расширения эта проблема может быть успешно решена.

Только изучая практические примеры, инженер сможет правильно понять связь между размером обсадной колонны, размером ствола, наклоном, жесткостью обсадной колонны и эффектами извилистости. К сожалению, современные программные модели крутящего момента и сопротивления крайне неадекватны, когда речь идет о реалистичном моделировании таких конфигураций.

Понимание влияния размера соединения на сопротивление скольжению обсадной колонны довольно тонкое. Соединения обсадных труб обычно выбираются с учетом требований, предъявляемых к растягивающим и сжимающим нагрузкам, давлениям разрыва и разрушения, требованиям к зазору, степени искривления, способности к скручиванию и стоимости. Однако выбор соединения, специально предназначенного для облегчения установки обсадной колонны, обычно не входит в эти критерии.

Интенсивное использование центраторов для облегчения установки обсадных труб в сложных скважинах является обычной практикой. Часто предполагается, что центраторы помогают свести к минимуму проблемы со спуском обсадной колонны. С точки зрения моделирования, центраторы должны значительно усложнить систему. Это связано с большим разнообразием типов центраторов; выбором места и частоты установки, а также сложностью измерения их чистого вклада в сопротивление движению обсадной колонны.

Централизация имеет тенденцию быть довольно острой темой — некоторые инженеры абсолютно уверены, что дополнительная централизация для облегчения установки необходима, в то время как другие считают это ненужными расходами. Веские доводы в пользу дополнительной централизации обычно можно сделать, если присутствуют истощенные пески. В таких случаях централизация помогает смягчить дифференциальное прилипание за счет улучшения зазора.

Практика спуска обсадной колонны имеет огромное значение. Как только буровая компоновка извлечена на поверхность, бригада на буровой обычно приступает к спуску обсадной колонны. В целях гарантии иногда проводятся специальные циклы очистки. Как минимум, для всех проблемных скважин необходимо провести анализ сопротивления спуску обсадной колонны. Также необходимо провести анализ работы насосов, чтобы рекомендовать график отключения для избежания поглощений бурового раствора. Эти результаты должны быть четко доведены до сведения бригады буровой установки заблаговременно до начала любых операций по спуску обсадной колонны.

Должны быть разработаны планы на случай непредвиденных обстоятельств для управления такими событиями, как отказ оборудования буровой установки, буровая погода, посадка вертолета, контроль скважины или другие события, которые могут прервать работу. Особый риск заключается в том, что работа будет остановлена на длительный период времени с обсадной колонной в открытом стволе.

Планирование скважин и интерпретация данных в реальном времени подразумевает моделирование крутящего момента и сопротивления.

При планировании операций бурения и спуска обсадной колонны часто возникает некоторая неопределенность в отношении коэффициентов трения и того, какие значения следует использовать при моделировании крутящего момента и сопротивления.

Распространенной ошибкой является то, что коэффициенты трения, рассчитанные на этапе бурения, используются для последующего спуска обсадной колонны. Следует отметить, что коэффициент трения при спуске обсадной колонны имеет тенденцию быть «значительно» выше. В таблице 1 ниже для иллюстрации этого момента используются примеры из различных регионов мира. Еще одно наблюдение, также отмеченное в [8], [9], заключается в том, что тип бурового раствора не оказывает существенного влияния на коэффициент трения при движении обсадной колонны.

Таблица 1. Коэффициенты трения при спуске и бурении

Район	Раствор	Бурение	Спуск
Северное море	PHO	0,10–0,20	0,25–0,40
Каспий	PHO	0,20–0,30	0,30–0,50
Аляска	PBO	0,15–0,25	0,30–0,40

Различные внутрискважинные механические воздействия могут серьезно повлиять на рабочие веса. К ним относятся наличие пластов выбуренной породы, осыпающихся сланцев, набухающих глин, неустойчивых образований, ключевых посадочных мест, уступов, прожилок и спиралевидных отверстий. Эти эффекты не следует смешивать с моделью сопротивления, что приведет к чрезмерному увеличению коэффициента трения.

Комплексный сбор данных, точные методы анализа и экспертная интерпретация информации о спуске обсадной колонны принесут дивиденды с точки зрения понимания проблем качества ствола скважины и предотвращения будущих отказов при спуске обсадной колонны. Автоматизация этого процесса крайне желательна. В дополнение к ведению учета необходимы

фундаментальные научные исследования для дополнения существующих знаний, основанных на бурении и спуске обсадных труб.

Модели крутящего момента и гидравлического сопротивления, используемые для планирования скважин с большим отходом от вертикали и других сложных скважин, обычно дают только ориентиры для производительности. Существует еще один уровень детализации, часто связанный с динамикой, который также следует учитывать в процессе планирования. При планировании операций по спуску обсадных труб необходимо использовать реалистичные коэффициенты трения. Невыполнение этого требования может привести к тому, что обсадная колонна не достигнет глубины из-за чрезмерного сопротивления.

Литература:

1. Viktorin, R.A., McDermott, J.R., Rush Jr., R.E., and Schamp, J.H., «The Next Generation of Sakhalin Extended-Reach Drilling», IADC/SPE 99131, IADC/SPE Drilling Conference, Miami, Florida, USA, 21–23 February 2006.
2. Meader, T., Allen, F. and Riley, G., «To the Limit and Beyond — The Secret of World-Class Extended-Reach Drilling Performance at Wytch Farm», IADC/SPE 59204, IADC/SPE Drilling Conference, New Orleans, Louisiana, USA, 23–25 February 2000.
3. Naegel, M., Pradie, E., Beffa, K., Ricaud, J., Delahaye, T., «Extended Reach Drilling at the Uttermost Part of the Earth», SPE 48944, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, USA, 27–30 September 1998.
4. Mason, C.J. and Chen, D. C-K., «Drilling Metrics for Improved Casing Running Performance», SPE 89912, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, USA, 26–29 Sep 2004.
5. Mason, C.J. and Chen D. C-K., «The Perfect Wellbore», SPE 95279, SPE Annual Technical Conference, Dallas, Texas, USA, 9–12 Oct 2005.
6. Mason, C.J. and Chen, D. C-K., «The Wellbore Quality Scorecard (WQS)», IADC/SPE 98893, IADC/SPE Drilling Conference, Miami, Florida, USA, 21–23 February 2006.
7. Pastusek, P. and Brackin, V., «A Model for Borehole Oscillations», SPE 84448, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, USA, 5–8 October 2003.
8. Green, M. D., Thomesen, C. R., Wolfson, L. and Bern, P.A., «An Integrated Solution of Extended-Reach Drilling Problems in the Niakuk Field, Alaska: Part II — Hydraulics, Cuttings Transport and PWD», SPE 56564, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, USA, 3–6 October 1999.
9. Krieger, A.G., Kidd, G.N., and Cocking D. A., «Northstar Drilling — Delivering the First Arctic Offshore Development», Journal SPE Drilling & Completion, Issue Volume 18, Number 2, June. Pages 188–193, 2003.

Управление наклонно-направленным бурением глубоких скважин

Алиева Мадина Абид гызы, студент магистратуры
Научный руководитель: Самедов Вугар Нурахмедович, PhD
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (г. Баку)

В статье предложена трехуровневая экспертная система управления проводкой глубокой горизонтальной скважиной. Она включает в себя заданную проектную траекторию скважины (проект), уровень управления с прогнозирующей обратной связью (прогноз) и уровень контроля за текущей траекторией бурящейся скважины (контроль). Алгоритмы управления основаны на непрерывной компенсации отклонений фактической траектории скважины от проектной траектории. Предлагаемые алгоритмы коррекции проектной траектории и программы управления строятся на основе прогноза траектории бурящейся скважины, по принципу использования прогнозирующей обратной связи.

Ключевые слова: горизонтальные скважины, проектный профиль, фактическая траектория, управление, положение забоя, прогнозируемая трасса скважины.

Deep well directional drilling control

Aliyeva Madina Abid, student master's degree
Scientific adviser: Samedov Vugar Nurakhmedovich, phd
Azerbaijan State University of Oil and Industry (Baku)

The article proposes a three-level expert system for managing horizontal well drilling. It includes a given design well trajectory (project), a control level with predictive feedback (forecast), and a control level for the current well trajectory (control). Control algorithms are based on continuous compensation for deviations of the actual well trajectory from the design trajectory. The proposed algorithms for correcting the design trajectory and control programs are based on the forecast of the trajectory of a drilling well, according to the principle of using predictive feedback.

Keywords: horizontal wells, projected profile, actual trajectory, control, well's bottom location, predicted well path.

Основной задачей управления является попадание ствола горизонтальной скважины в центр продуктивного пласта. Объектом управления является горизонтальная скважина с двумя секциями увеличения зенитного угла.

Сущность разработанных управляющих воздействий и правил заключается в следующем [1]. Если отклонение фактической трассы от проектной траектории горизонтальной скважины произошло на втором интервале, то процесс управления сводится к процессу управления скважины с одним участком увеличения зенитного угла с целью попадания на середину продуктивного пласта при достижении проектного значения конечного зенитного угла.

Разработанные модели и структура экспертной системы управления позволили создать экспертную гибридную программу управления искривлением траекторией горизонтальных скважин в кусте.

Структура программного обеспечения представлена на рис. 1.

Обобщенная блок — схема усовершенствованного алгоритма выработки управляющих воздействий приведена на рис. 2.

Экспертная система является как самостоятельным программным продуктом, так и может быть включена в единую систему управления направленными скважи-

нами в кусте. Разработанная экспертная система осуществляет оперативный контроль трассой ствола горизонтальной скважины, обработку технологической информации о процессе бурения и выдачу на ее основе рекомендаций по управлению проводкой горизонтальных скважин с морской глубоководной платформы в пределах данного конкретного месторождения.

Основными задачами, которые решает система, являются:

1. Получение первичных фактических инклинометрических параметров в отдельных точках ствола скважины;
2. Оперативное отображение первичной инклинометрической информации;
3. Обработка полученных инклинограмм (сортировка данных и построение трассы ранее пробуренного участка скважины);
4. Расчет трассы на прогнозируемом участке;
5. Оценка положения забоя и направления бурения с точки зрения перспективы достижения скважиной середины продуктивного пласта.

Объектом управления является горизонтальная скважина с двумя секциями увеличения зенитного угла.

Программный комплекс состоит из трех подсистем (подсистемы проекта, подсистемы принятия решения (правил экспертной системы), подсистемы исполнения

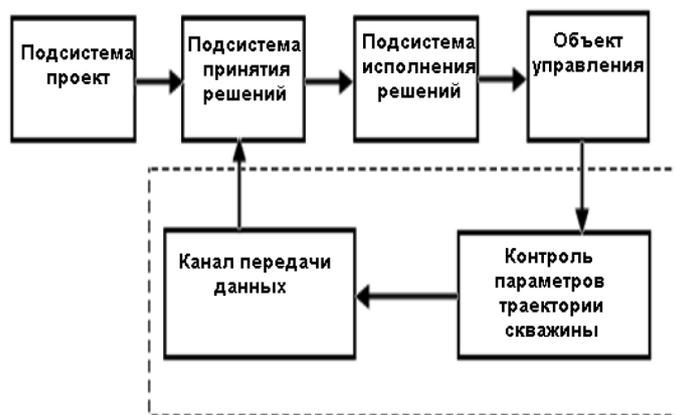


Рис. 1. Структура программного обеспечения



Рис. 2. Схема алгоритма управления

решения), блока контроля параметров траектории скважины и канала передачи фактических данных (рис. 1).

Исходными данными для работы программного обеспечения являются геологические, проектные и фактические данные для каждой конкретной скважины.

Геологические данные в разработанных моделях и при работе программного обеспечения учитываются как неизменный фактор. По ним определяется конструкция горизонтальной скважины, в частности глубина спуска промежуточной обсадной колонны на интервале набора, глубина и отклонение конечной точки середины продуктивного пласта, угол залегания продуктивного пласта.

К проектным данным относятся координаты проектного профиля горизонтальной скважины. Для оперативного управления трассой бурящейся горизонтальной скважины и построения ее вертикальной и горизонтальной проекции необходимо ввести или рассчитать проектный профиль [2].

Для успешной проводки горизонтальных скважин в кусте и осуществления оперативного управления этим процессом необходимо ввести проектные данные по всем скважинам куста. Введенные данные автоматически ис-

пользуются системой для осуществления управления проводкой горизонтальной скважины в кусте.

Фактические данные представляют собой инклинометрические замеры из фактического ствола бурящейся горизонтальной скважины. Они могут поступать как в реальном режиме времени при использовании телеметрических систем, или вручную, при использовании обычных инклинометров. Подсистема проектирования либо оперативно рассчитывает проектный профиль горизонтальной скважины, либо получает готовые значения из базы данных.

Подсистема проекта передает проектные данные в подсистему принятия решений. Подсистема принятия решений выполняет функцию выработки управляющих воздействий с помощью фактических данных и правил экспертной системы.

Эти управляющие решения обеспечивают достижение цели управления траекторией скважины и позволяют осуществлять оперативный контроль и управление горизонтальной скважиной в процессе бурения. В подсистеме принятия решений происходит диалоговый обмен информацией с пользователем, выдача

различных сообщений, которые помогают ему принимать обоснованные решения. Комплекс программ блока «Подсистема выполнения решений» выполняет следующие функции: по принятым решениям строится прогнозная трасса, полученные расчетные значения передаются в систему. Целью управления искривлением на интервале интенсивного увеличения зенитного угла является достижение зенитным углом заданного для этого интервала максимального значения при одновременном направлении вертикальной проекции скважины на центр продуктивного пласта. Управление ведется для одного рейса.

В процессе управления на интервале стабилизации зенитного угла — горизонтальном интервале — решается задача поддержания достигнутого значения зенитного угла при одновременном сохранении направления проекции скважины по центру продуктивного пласта. Управление ведется для одного рейса равного проходке на долото для этого интервала.

Литература:

1. Мамедтагизаде А. М., Шмончева Е. Е., Самедов В. Н., Джаббарова Г. В. Усовершенствование математической модели для управления проводкой горизонтальной скважины // Научные труды НИПИ «Нефтегаз», Баку, 2011, № 4, с. 32–35.
2. Мамедбеков, О. К., Гулизаде П. М., Ширинов М. М., Шмончева Е. Е. «Проектирование профилей наклонных и горизонтальных скважин», Баку: 1999 «Нафта-пресс», Методическое указание, 42 с.

Структурная и параметрическая идентификация котельного агрегата как многомерного объекта

Ахметов Адилет Тулегенович, студент магистратуры;
Сагындыкова Шолпан Назаровна, кандидат технических наук, доцент
Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева (Казахстан)

В данной статье рассмотрен водогрейный котел как многомерный объект управления. В соответствии с технологическим процессом определены входные и выходные параметры объекта. Построена математическая модель многомерного, многосвязного объекта в виде системы дифференциальных уравнений в пространстве состояний первого порядка.

Определение правильной математической модели многомерного объекта — безусловно является творческим и трудоемким процессом. Но, возможность применения их для дальнейшего исследования с помощью прикладных программ — очень удобно.

Возможность современных программ определять математическую модель, позволяет экономить время построения и исключает ошибки в процессе. Также, прогресс этих программ дает возможность получать модель в удобной для исследователя форме. Построенная таким образом модель может быть не верна только в случае допущения ошибки исследователем.

Система обрабатывает введенную информацию и выдает решения — рекомендуемые параметры управления при бурении; трассу прогнозируемого интервала; оценку близости с соседними стволами скважин куста.

Трасса последнего пробуренного интервала, записывается в базу данных и в дальнейшем используется для графического построения трассы скважины и отдельных ее проекций. На основе полученных расчетов и рекомендаций система рассчитывает трассу следующего прогнозируемого интервала бурения.

Применение на практике данных рекомендаций позволит успешно провести бурение в заданном направлении, попасть на заданный уровень в продуктивном пласте и успешно продолжить продвижение в нем.

Вывод

Данная система может быть использована при бурении новых горизонтальных скважин в кусте и при восстановлении скважин бурением боковых горизонтальных или условно — горизонтальных стволов.

Труд исследователя и его теоретическая подготовка является залогом к получению верной модели процесса.

При построении модели глубоко исследуется объект управления, физические и химические закономерности в нем, взаимное влияние параметров объекта. Многомерность и сложность объекта также учитываются.

Для того, чтобы синтез таких систем не привел трудностям, связанным с реализацией и вычислением модели, исследователь четко планирует форму и сложность описываемого процесса.

Водяной котел как многомерный объект управления
Котел имеет важное значение в технологической цепи ТЭС. Роль котла заключается в выработке тепловой

энергии для производства электроэнергии, а также для отопления и горячего водоснабжения разных объектов [1].

В котле функционирует несколько процессов одновременно. Это горение топлива, перенос тепла дымовыми газами и нагревание воды.

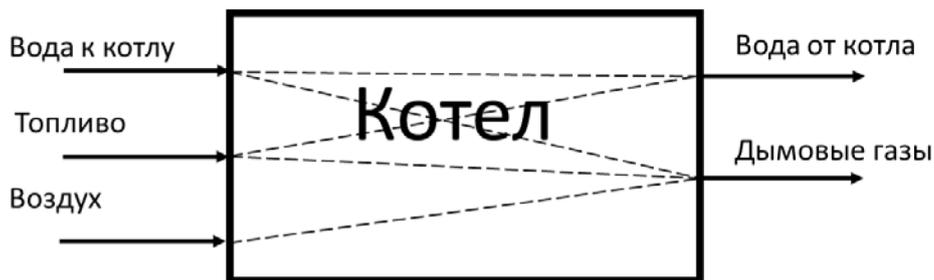


Рис. 1. Котел КВР-15–150 как многомерный объект

При детальном рассмотрении каждого процесса котельного агрегата многомерный объект (рис. 1) с тремя

входами и двумя выходами преобразуется в многомерный объект большей размерности.

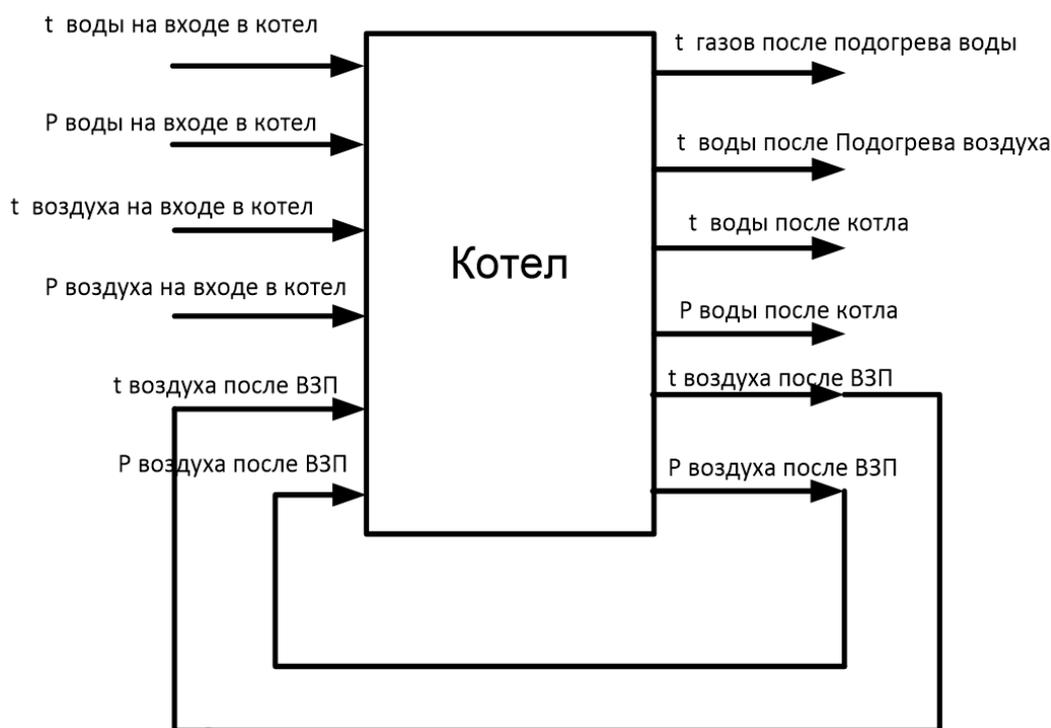


Рис. 2. Многомерный объект 6x6

Математическое описание объекта формируется по данным с датчиков на объекте. Обработав реальные данные с датчиков и приведя их к безразмерному виду, строим модель котла.

Формирование математического описания многомерного объекта по второму подходу, описанному в [3].

Связь каждого входа с каждым выходом определяем через сопоставление данных как входные и выходные данные.

Используя подпрограмму `ident` пакета Matlab [2] определяем многомерную, многосвязную математическую модель котла. Задавая свои настройки и вид математического описания получаем модель. Ее соответствие данной системе можно увидеть в виде процентного показателя.

Таблица 1. Данные с водогрейного котла

Параметр №	t воды перед котлом	P воды перед котлом	t воз-духа перед ВЗП	P возд. от венти-лятора	t воз-духа после ВЗП	P воз-духа после ВЗП	t воды после котла	P воды после котла	t дым. газов перед ВЗП	t воз-духа после ВЗП	P воз-духа после ВЗП	t дым. газов
1	54,1	11	1,5	856,8	78,3	160,1	81,5	7,6	170,8	78,3	160,1	108,8
2	53,9	11	1,5	872,2	79,5	190,4	82,9	7,6	173	79,5	190,4	110
3	54,1	11	1,5	892	80,7	159,7	84,3	7,6	174,9	80,7	159,7	111,2
4	53,9	11,1	1,3	887,4	81,7	211	85,4	7,7	177,7	81,7	211	112,6
5	53,9	11,2	1,3	871,7	83,1	183,9	86,3	7,8	179,7	83,1	183,9	113,7
6	53,9	11,1	1,3	881,7	84,1	173	87,2	7,7	182,4	84,1	173	114,8
7	53,9	11	1,3	891,9	84,4	162,8	87,8	7,7	180,4	84,4	162,8	113,6
8	53,9	11,1	1,5	889,4	84,2	154,5	87,9	7,7	180,9	84,2	154,5	115,2
9	53,9	11,1	1,5	892,9	85,4	197,1	88,4	7,7	185,4	85,4	197,1	117
10	53,9	11	1,7	903	87	203,6	90,2	7,6	189,9	87	203,6	119,1
11	54	10,9	1,7	909,4	88,8	191	92,8	7,6	193,4	88,8	191	120,7
12	54	10,9	1,7	903,3	90,4	193,4	95	7,6	197,5	90,4	193,4	122,7
13	54	10,9	1,5	913,2	91,7	184,4	96,4	7,6	200,7	91,7	184,4	123,9
14	54	11	1,5	913,1	92,7	205,5	97,4	7,5	200,9	92,7	205,5	124,9
15	53,9	10,9	1,5	909,4	93,1	211,9	97,5	7,5	200,7	93,1	211,9	125,5
16	53,7	10,9	1,5	914,2	93,9	196,8	97,5	7,6	202,6	93,9	196,8	126,5
...
17	53,7	10,9	1,5	921,3	94,5	217,6	97,7	7,5	204	94,5	217,6	127,1
18	53,7	10,9	1,5	909,4	94,5	188	97,5	7,5	203,8	94,5	188	127,3
19	53,7	10,9	1,5	909,2	94,7	226	97,1	7,5	202,1	94,7	226	127,1

$$\begin{cases}
 \dot{x}_1 = -0.04961x_1 + 0.04675x_2 + 0.0137x_3 + 0.05885x_4 + 0.008307u_1 + 0.0003465u_2 - 0.01395u_3 \\
 \dot{x}_2 = 0.00398x_1 - 0.03104x_2 - 0.02502x_3 + 0.03469x_4 + 0.007721u_1 + 0.004266u_2 - 0.003168u_3 \\
 \dot{x}_3 = -0.06563x_1 + 0.0003189x_2 - 0.01519x_3 + 0.00932x_4 + 0.004473u_1 + 0.003692u_2 - 0.005254u_3 \\
 \dot{x}_4 = -0.005768x_1 - 0.04603x_2 - 0.00672x_3 - 0.1005x_4 - 0.01443u_1 + 0.002319u_2 - 0.01081u_3 \\
 \dot{x}_5 = -0.01362x_1 - 0.02513x_3 - 0.05007x_4 - 0.05162x_5 + 0.003948u_1 + 0.01156u_2 - 0.02462u_3 \\
 \dot{x}_6 = -0.006927x_1 - 0.04152x_2 - 0.07537x_3 + 0.1172x_3 - 0.007169u_1 - 0.03506u_2 - 0.0518u_3 \\
 y_1 = -0.01534x_1 - 0.03462x_2 - 0.07811x_3 - 0.08177x_4 + 0.00576u_1 + 0.01724u_3 + 0.03727u_5 \\
 y_2 = 0.04106x_2 - 0.01866x_3 - 0.1262x_4 - 0.2747x_6 + 0.01745u_3 + 0.06029u_4 + 0.105u_6 \\
 y_3 = 3.477x_3 - 1.038x_5 + 6.611x_6 - 3.289x_5 + 0.6098u_1 - 0.006924u_3 - 0.009486u_5 \\
 y_4 = 6.508x_3 - 0.9202x_4 - 0.09723x_6 + 0.006928u_2 - 0.1005u_3 + 0.3129u_5 \\
 y_5 = 7.064x_1 + 0.2549x_2 - 0.193x_4 - 0.1949x_6 + 0.05345u_1 - 0.004908u_3 + 0.339u_5 \\
 y_6 = 0.04106x_1 - 0.01866x_3 - 0.1262x_4 - 0.2747x_6 + 0.01745u_3 + 0.06029u_4 + 0.105u_5
 \end{cases}$$

Полученная многомерная и многосвязная модель имеет показатель соответствия 93,2 %, что говорит о том что полученную модель можно считать соответствующей образцу.

По полученному математическому описанию в виде системы дифференциальных уравнений в пространстве состояний первого порядка [4], в дальнейшем можно моделировать систему в прикладном пакете программ Matlab.

Литература:

1. Сидельковский, Л. Н., Юренев В. Н. Котельные установки промышленных предприятий. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 528 с.
2. System Identification Toolbox User's Guide. — The MathWorks. — Inc, 2008. — 528 p.
3. Воронов, А. А. Введение в динамику сложных управляемых систем. — М.: Наука, 1985. — 352 с.
4. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5 т. / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. — Изд. 2-е, перер. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. — Т.3. — 616 с.

Обзор автоматизированных систем контроля зольности и зашлакованности котлов

Бактигалиев Мейрболат Бекболатович, студент магистратуры

Научный руководитель: Утепбергенов Ирбулат Туремуратович, профессор;

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

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

В статье дано понятие зольности и зашлакованности котлов. Описаны последствия несвоевременной очистки котла. Также описаны методы очистки котлов. Сделан краткий обзор по продуктам на рынке по чистке котлов.

Ключевые слова: энергоэффективность, ресурсы, нагрев котла, очистка поверхности, теплопередача

В последние годы наблюдается существенный рост потребности в энергетических ресурсах, что создает необходимость повышения энергоэффективности действующих теплогенерирующих установок. Наиболее высокого уровня энергоэффективности котельной можно достигнуть только за счёт комплексного подхода к решению конструктивных, технологических, технико-экономических и экологических проблем.

Обслуживание энергетического хозяйства в системе энергоменеджмента представляет собой совокупность административных и технических действий, способствующих поддержанию основного энергетического оборудования в работоспособном состоянии. Данное направление включает мониторинг текущего состояния энергетической инфраструктуры, составления календарных планов и графиков ремонтов оборудования, экономический анализ износа основных производственных фондов энергетического хозяйства. [1]

В этой связи актуальной проблемой становится оптимизация методов сжигания топлива при обеспечении экономичности, надежности и экологичности работы промышленных котлов.

Одним из способов повышения эффективности работы котлов можно назвать постоянный контроль и своевременную очистку внутренней поверхности нагрева котла. В виду постоянного дутьевого-вытяжного давления в котле образовавшийся шлак оседает на поверхностях труб.

Проблема шлакообразования приводит к формированию отложений, которые со временем будут способствовать уменьшению теплопроводности труб.

В случае повышенной влажности, особенности состава топлива, а также проблем не догорания топлива выделяется зола.

Образование золы в отличии от образования шлака, опасна возможностью воспламенения и формирования взрывов в котельном агрегате [2].

Путем недопущения последствий шлако- и золообразования является своевременная очистка котельного оборудования.

Процесс очистки котлов от золы и шлака очень сложен и опасен, он требует строгого соблюдения техники безопасности рабочего персонала. В этой связи были разработаны разные методы очистки.

В этой связи можно воспользоваться традиционной продувкой сажи. Этот метод применяется в экранных и пароперегревательных, иногда в конвективных поверхностях нагрева. Но у этого метода есть свои недостатки. Низкочастотная выдувка сажи может быть не эффективной и привести к снижению эффективности теплопередачи. Высокочастотная продувка сажи может расходовать впустую пар высокого давления, а также повредить поверхность труб, сокращая срок службы теплообменного устройства.

В настоящее время, наряду с обдувкой, существуют такие методы очистки как: дробевая очистка, импульсная очистка, обмывка, ручная очистка, виброочистка [3].

Дробевая очистка применяется для конвективных и хвостовых поверхностей нагрева.

Обмывка поверхностей нагрева водой производится при плотных отложениях, не поддающихся механической очистке.

Ручная очистка поверхностей нагрева производится сжатым воздухом, подаваемым по гибкому шлангу к стальной трубе с наружным диаметром 26,8 мм.

Вибрационный метод очистки поверхностей нагрева состоит в том, что очищаемым трубам сообщается колебательное движение.

В связи с этим, существуют компании, предлагающие свои продукты для очистки поверхностей нагрева.

Так например, ОАО «НПО ЦКТИ» на основе собственных исследований разработала системы газоимпульсной очистки (ГИО) с малогабаритными импульсными камерами [4].

Система пневмоимпульсной очистки теплообменной поверхности котельных агрегатов, на основе пневмоимпульсных устройств EXEN от WIELAND VACSYSTEMS UKRAINE предлагает установку оборудования на котле, ударно-волнового воздействия пневматического импульса сжатого воздуха. По заявлению производителя,

этот метод показывает наилучшие результаты из имеющихся способов очистки поверхности нагрева [5].

Системы очистки поверхностей нагрева от Clyde Bergemann. Компания предлагает программное обеспечение мониторинга зольности и шлакообразования. Для каждого участка котельного агрегата у системы есть свои методы определения проблемы. По результатам осуществляется анализ и предлагается точечная очистка необходимой области [6].

Развитие систем мониторинга и управления процессом засорения котла несомненно является актуальной задачей. Развитие систем автоматического определения степени засоренности и наиболее зольных, зашлакованных мест повысит эффективность теплопередачи, снизит возможность образования взрывов.

Литература:

1. Добринова, Т. В., Харланова В. Н., Система энергетического менеджмента на предприятии как особый вид управленческой деятельности. // Молодежь и наука: Шаг к успеху. Сборник научных статей 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых: в 5 т.. 2019
2. Литвинова, Ю. В., Проблемы и их решения при работе котельных установок // Технические науки — от теории к практике. 2013. № 29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-ih-resheniya-pri-rabote-kotelnyh-ustanovok>
3. <https://msd.com.ua/teplotexnicheskoe-oborudovanie/ochistka-poverxnostej-nagreva-ot-zoly-shlakozoloudalenie-i-zoloulavlivanie/>
4. Погребняк, А. П. Опыт внедрения газо-импульсной очистки на энерготехнологических котлах и котлах промышленной и коммунальной энергетики / А. П. Погребняк, С. И. Воеводин, В. Л. Кокорев, А. Л. Кокорев // Новости теплоснабжения. — 2007. — № 9 (85).
5. <https://pneumotech.com.ua/g3729567-ochistka-teploobmennyh-poverhnostej>
6. <https://clyde-industries.com/products-and-solutions/smart-clean-for-power?lang=ru>

Распределение плотности тока в ВЧ-разряде в условиях динамического вакуума

Гафаров Илдар Гарифович, кандидат технических наук, доцент
НИИ «Полюс» имени М. Ф. Стельмаха (г. Москва)

Максимов Руслан Александрович, аспирант;
Желтухин Виктор Семенович, профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Шемахин Александр Юрьевич, доцент
Казанский (Приволжский) федеральный университет

Исследовано распределение плотности разрядного тока в потоках плазмы ВЧ-индукционного и емкостного разрядов пониженного давления. Установлено, что в плазменной струе плотность тока на три порядка меньше, чем в разрядной камере. При этом вектор плотности тока имеет аксиальную и азимутальную компоненты. Найдены основные закономерности влияния давления и расхода газа, мощности разряда на плотность тока. Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что плазменная струя ВЧ разряда при пониженном давления не является рекомбинирующей плазмой.

Ключевые слова: ВЧ-индукционный разряд, пониженное давление, продув газа, плазменная струя, пояс Роговского, плотность тока.

Плазма ВЧ разрядов при пониженном давлении в диапазоне $p = 13,3 \div 133$ Па с расходом газа $G = 0 \div 0,3$ г/с при вкладываемой в разряд мощности $P_p = 0,1 \div 4$

кВт обладает рядом свойств, значительно отличающихся от других видов газовых разрядов. В частности, длина струи, истекающей из плазмотрона в рабочую камеру, до-

стигает 0,5 м. Для уточнения характеристик ВЧ-разрядов в таких условиях проведены измерения плотности тока разряда $\mathbf{j}(r, z)$.

Измерения плотности тока позволяют установить границы существования диффузного ВЧ разряда, получить оценки концентрации электронов и проводимости плазмы, плотности потока частиц на обрабатываемую поверхность. Это дает возможность определить зоны эффективной обработки поверхности изделий при размещении их в разрядной камере плазмотрона или в струйном потоке в вакуумной камере.

Целью работы является исследование плотности тока в ВЧ-индукционном и ВЧ-емкостном разрядах с продувом

газа при пониженном давлении, зажигаемых в кварцевой разрядной камере с помощью соленоидального индуктора (ВЧИ-разряд) и внешних кольцевых электродов (ВЧЕ-разряд).

Методы исследования

Измерения проводились на ВЧ плазменной установке (рис. 1), которая состоит из нескольких взаимосвязанных систем: высокочастотный генератор, вакуумный блок, система питания рабочим газом, высоковольтный выпрямитель, высокочастотный плазмотрон, система диагностики и контроля. Основные конструктивные характеристики и параметры режима работы установки описаны в работе [1].



Рис. 1. Фотография ВЧИ-плазменной установки

ВЧ индукционный плазмотрон состоит из индуктора и разрядной камеры. Индуктор представляет собой катушки индуктивности из медной трубки, по которой подается вода для охлаждения.

ВЧ-емкостный плазмотрон состоит из кольцевых разрезных электродов, соосных с разрядной камерой. Плазмотроны закрепляются в отверстиях базовой плиты вакуумной камеры с помощью уплотнительного кольца из вакуумной резины.

Разрядная камера (РК) представляет собой цилиндрическую цельносварную конструкцию из кварца с двойными стенками внутренним диаметром 0,024 м. В пространство между стенками подается вода для охлаждения разрядной камеры. Измерения плотности тока в разрядной камере проводились в специальном плазмотроне с оливками [1], через которые в плазму вводился зонд. Свободные оливки закрывались притертыми пробками.

Измерения плотности тока в ВЧ-разряде проводились с помощью миниатюрной катушки Роговского. Измерительный пояс выполнен в виде тороидальной катушки сечением 0,19 мм², намотанной проводом 0,01 мм. Для исключения высокочастотной наводки пояс Роговского помещен в экран из медной трубки в форме тора с прорезью. Плоскость прорези совпадала с осью зонда. При ориентации оси катушки параллельно линиям тока воз-

никает сигнал. Если ось зонда перпендикулярна вектору плотности тока, то сигнал должен отсутствовать. Такая конструкция зонда позволяет не только измерить плотность тока, но и определить его направление (компоненты вектора \mathbf{j}).

Во избежание перегрева зонда плазмой он снабжен принудительным водяным охлаждением за счет теплообмена с зоной экрана, по которой циркулирует вода. На часть экрана, контактирующую с плазмой, напылялся слой из двуокиси кремния. Для измерения малых величин плотности тока и подавления синфазной помехи использовался дифференциальный усилитель [1].

При измерениях плотности тока входные параметры изменялись в указанных выше диапазонах. Использовались рабочие частоты генератора $f=1,76$ для ВЧИ-разряда и 13,56 МГц для ВЧЕ-разряда. Измерения проводились в атмосфере аргона высшего сорта и воздуха. В процессе работы контролировались основные входные параметры: ВЧ напряжение на электродах, ВЧ ток индуктора, частота генератора, давление газа, расход газа.

Результаты и обсуждение

В силу особенностей конструкции плазмотрона во ВЧИ-разряде вектор плотности тока имеет только азимутальную компоненту $\mathbf{j} = (0, j_\varphi, 0)$, во ВЧЕ-разряде — аксиальную $\mathbf{j} = (0, 0, j_z)$.

Зависимости плотности тока в ВЧИ-разряде от G_p, P_p и пространственные распределения азимутальной j_φ и аксиальной j_z составляющих представлены на рис. 2–5. Начало координат на рис. 2 в радиальном направлении соответствует оси потока, в аксиальном направлении на рис. 3, 6 — поверхности базовой плиты вакуумной камеры.

Из рис. 2 видно, что в разрядной камере ВЧИ-разряда $j_\varphi=0$ на оси разряда и возрастает к его границе. Такое вид графика j_φ объясняется симметрией потока относительно оси, условием непрерывности тока и возрастанием напряженности электрического поля в направлении к стенкам разрядной камеры [1–6].

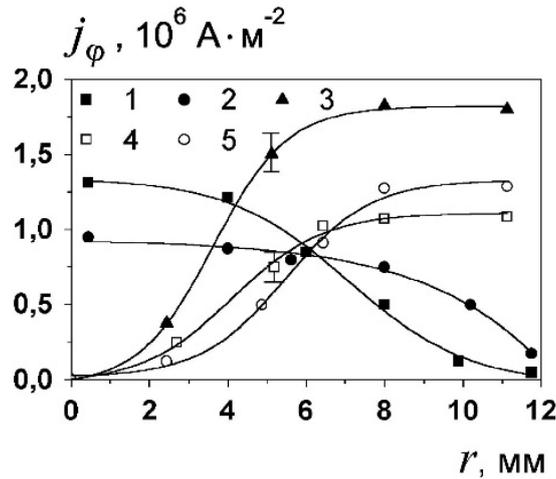


Рис. 2. Распределение плотности ВЧ тока в плазме по радиусу разрядной камеры ($z=-120$ мм, $p=165$ Па). 1,2 — ВЧЕ разряд в аргоне, $f=13,56$ МГц, $P_p=2,7$ кВт; 1 — $G_r=0,18$ г/с; 2 — $G_r=0$; 3–5 — ВЧИ разряд, $f=1,76$ МГц, $P_p=2,4$ кВт, $p=113$ Па: 3 — $G_r=0$, аргон, 4 — $G_r=0,1$ г/с, воздух, 5 — $G_r=0,1$ г/с, аргон

Во ВЧЕ-разряде плотность тока максимальна на оси и спадает к границам разрядной камеры, что соответствует распределению концентрации электронов и электронной температуры [2–5]. Колоколообразный вид

плотности тока во ВЧИ-разряде и плавное возрастание ее во ВЧЕ-разряде свидетельствуют о том, что разряд в диапазоне давлений 13,3–133 Па является диффузионным.

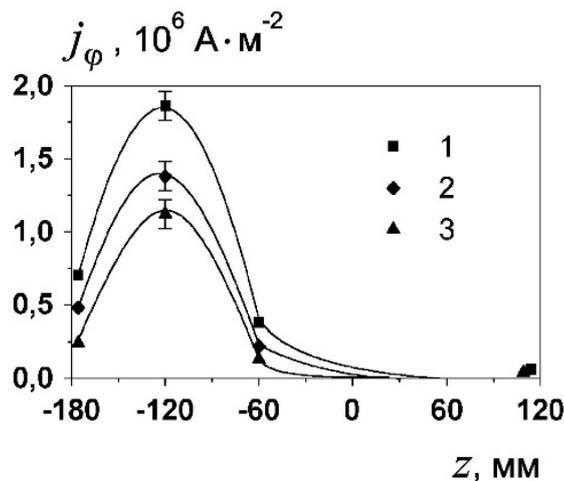


Рис. 3. Распределение плотности тока по оси потока ВЧИ плазмы ($f=1,76$ МГц, $P_p=2,4$ кВт, $p=113$ Па): 1 — $G_r=0$, аргон, 2 — $G_r=0,1$ г/с, аргон, 3 — $G_r=0,1$ г/с, воздух

В аксиальном направлении в разрядной камере распределение $j_\varphi(0, z)$ имеет колоколообразный вид, абсолютные значения j_φ достигают максимума в области индуктора (рис. 3). При $P_p=2,4$ кВт, $p=133$ Па плотность тока в плазменном сгустке достигает $1,8 \cdot 10^6$ А/м², при этом мак-

симальное значение в плазменной струе составляет $\sim 10^3$ А/м². Наличие плотности тока в вакуумной камере свидетельствует о том, что плазменная струя ВЧ-разряда при пониженном давлении с продувом газа является не потоком рекомбинирующей плазмы, а дополнительным разрядом.

Установлено, что при изменении давления плотность тока в плазме практически не изменяется. Данная закономерность может быть объяснена следующим образом. В соответствии с законом Ома, плотность тока в ВЧ-разряде

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} = \frac{n_e e^2 \nu_c}{m_e (\nu_c^2 + \omega^2)} \mathbf{E} \sim \frac{n_e \mathbf{E}}{\nu_c}, \quad (1)$$

где σ — проводимость плазмы, \mathbf{E} — напряженность электрического поля, n_e — концентрация электронов, e — элементарный электрический заряд, ν_c — частота упругих столкновений электронов с атомами и ионами, m_e — масса электрона, ω — круговая частота электромагнитного поля [7].

При увеличении давления частота столкновений увеличивается, следовательно, неизменность плот-

ности тока при варьировании давления означает, что при этом n_e и \mathbf{E} изменяются разнонаправленно: при увеличении n_e пропорционально уменьшается \mathbf{E} , и наоборот. Это может быть связано с тем, что с увеличением концентрации электронов увеличивается экранировка плазмой ВЧ магнитного поля, и, соответственно, уменьшается магнитная и электрическая напряженности ВЧ поля.

При увеличении мощности разряда j_ϕ в диапазоне от 1,5 до 2,7 кВт монотонно возрастает (рис. 4). Мощность, вкладываемая в разряд, регулируется током, подаваемым на индуктор. Согласно калибровочным графикам [1], мощность, вкладываемая в разряд P_p , пропорциональна мощности, потребляемой установкой $P_{уст}$.

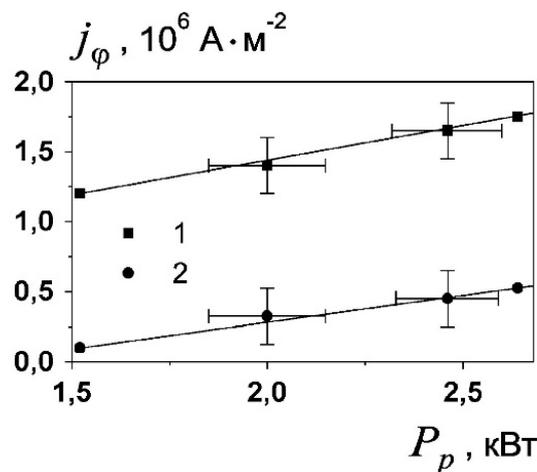


Рис. 4. Зависимость плотности тока в плазме ВЧИ разряда от мощности ($f=1,76$ МГц, $p=113$ Па):
1 — аргон, $z = -120$ мм, $G_r=0$, 2 — воздух, $z = -60$ мм, $G_r=0,1$ г/с.

Связь P_p с внутренними параметрами разряда дается соотношением

$$P_p = \int_{\Omega} \mathbf{j} \cdot \mathbf{E} d\Omega, \quad (2)$$

При увеличении тока индуктора пропорционально возрастают напряженности магнитной и электрической составляющих электромагнитного поля, соответственно увеличивается поглощение мощности плазмой, и, согласно формулам (1), (2) увеличиваются n_e , \mathbf{E} и \mathbf{j} .

При увеличении расхода плазмообразующего газа j_ϕ изменяется нелинейно: вначале, при увеличении G_r от 0 до 0,04 г/с плотность тока уменьшается, затем увеличивается, достигая локального максимума при $G_r=0,08$ г/с, и при дальнейшем увеличении G_r плотность тока уменьшается (рис. 5). Такая закономерность объясняется взаимодействием двух факторов: скорости газа \mathbf{v}_a , и скорости ионизации $\dot{n}_e = \nu_i n_e$, где ν_i — частота ионизации.

В отсутствие продува газа перенос поглощенной энергии из разрядной камеры в вакуумную камеру незначителен, вся энергия электрического поля вкладывается в области плазменного сгустка. При включении продува газа заряженные и нейтральные частицы переносятся

потоком плазмы в вакуумную камеру, унося с собой поглощенную энергию поля. При этом уменьшается концентрация электронов, соответственно уменьшаются скорость ионизации $\nu_i n_e$ и плотность тока j_ϕ .

В движущейся плазме закон Ома (1) можно переписать в виде [7, 8]

$$\mathbf{j} = e \langle \mathbf{v}_e \rangle n_e, \quad (3)$$

где средняя скорость электронов

$$\langle \mathbf{v}_e \rangle = \mathbf{v}_a - \frac{D_a}{\nu_e} \nabla n_e, \quad (4)$$

D_a — коэффициент амбиполярной диффузии. Из формулы (4) видно, что в безрасходном режиме (при $\mathbf{v}_a = 0$) плотность тока определяется диффузионным переносом. При подаче газа сначала большее влияние на плотность тока оказывает унос заряженных частиц с потоком плазмы и уменьшение скорости ионизации. При этом уменьшается диффузионная составляющая плотности тока $\mathbf{j}_{диф} = e D_a \nabla n_e$ и увеличивается конвективная составляющая плотности тока $\mathbf{j}_{конв} = e \langle \mathbf{v}_a \rangle n_e$. При определенном расходе газа (в данном случае при $G_r=0,4$ г/с) конвективная составляющая плотности тока начинает преобладать над диффузионной и j_ϕ начинает увеличиваться. По достижении $G_r=0,08$ г/с унос частиц

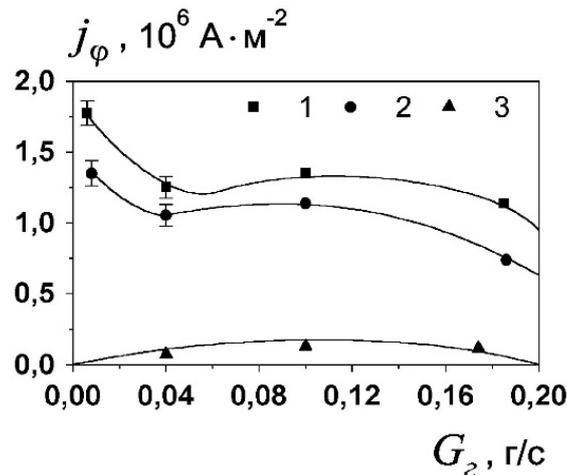


Рис. 5. Зависимость плотности тока в плазме ВЧИ разряда от расхода плазмообразующего газа, ($f=1,76$ МГц, $p= 113$ Па, $P_p = 2,4$ кВт): 1 — $z= -120$ мм, аргон, 2 — $z = -120$ мм, воздух, 3 — $z = 120$ мм, аргон

из области ионизации становится слишком большим и обе составляющих плотности тока, $j_{\text{диф}}$ и $j_{\text{конв}}$ начинают уменьшаться. Следствием этого является уменьшение плотности тока.

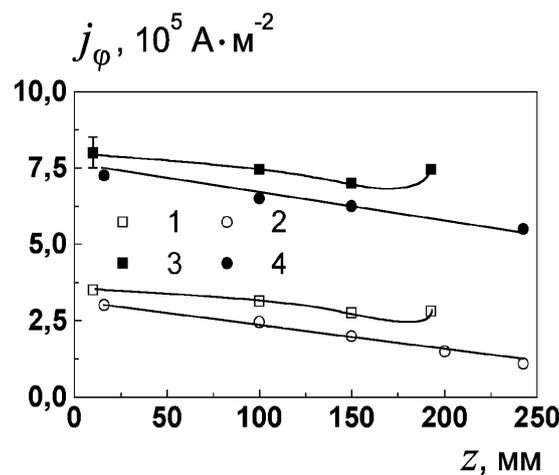


Рис. 6. Распределение плотности тока вдоль потока ВЧИ плазмы аргона, при обработке образца из сплава ВТ8 ($z=200$ мм, $G_g=0,1$ г/с): 1, 2 — $P_p=1,8$ кВт, 3, 4 — $P_p=3,8$ кВт, 2, 4 — без образца, 1, 3 — с образцом

В плазменной струе при $P_p=2,4$ кВт, $p=133$ Па плотность тока не превышает 10^3 А/м^2 (рис. 6). При введении образца в струю амплитуда азимутальной составляющей ВЧ тока в плазме возрастает на 20–30 % вблизи поверхности и практически не меняется на выходе из плазмотрона (рис. 5). При этом обнаруживается аксиальная составляющая плотности ВЧ тока аксиальной j_z , амплитуда которой пропорциональна мощности разряда и достигает значений 4000 А/м^2 . Причиной этого является торможение потока и возникновение емкостной связи между образцом и базовой плитой вакуумной камеры, так как образец в плазме заряжается отрицательно [8].

Полученные закономерности согласуются с распределением концентрации электронов, температуры плазмы

и напряженности магнитного поля в потоке ВЧ-разрядов пониженного давления [1–6].

Выводы

Характер распределений плотности тока в ВЧ-разрядах в условиях динамического вакуума при давлениях в диапазоне 13.3–133 Па свидетельствуют о том, что разряд находится в диффузионном режиме, а плазменная струя не является потоком рекомбинирующей плазмы, как ВЧИ разряд атмосферного давления, а дополнительным разрядом.

Полученные закономерности по пространственному распределению плотности тока, зависимости от режима ВЧ-плазменной установки могут быть использованы для оптимизации обработки технологических параметров обработки материалов.

Литература:

1. Абдуллин, И. Ш. Высоочастотная плазменно-струйная обработка материалов при пониженных давлениях. Теория и практика применения / И. Ш. Абдуллин, В. С. Желтухин, Н. Ф. Кашапов. — Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та. — 2000. — 348 с.
2. Gafarov, I. Electron Density Measurement in a RF Plasma Discharges by Microwave Method / I. Gafarov, G. Paskalov // Proc. of 5th Central European Symposium on Plasma Chemistry. — Balatonalmadi, Hungary, 2013.
3. Zheltukhin, V. Microwave techniques for electron density measurements in low pressure RF plasmas / V. Zheltukhin, I. Gafarov, A. Shemakhin // Proc. of 69th Annual Gaseous Electronics Conference. — Bochum, Germany. — 2016. — Vol. 61, No 9. — P. 78.
4. Gafarov, I. Microwave studies of low pressure RF plasma / I. Gafarov, G. Paskalov, M. Nikravech // 10th Conference «Modern methods of plasma diagnostics and their application», National Research Nuclear University «MEPhI». — 2016. — P. 38–41.
5. Gafarov, I. Investigation of RF discharge parameters in diffusion regimes / I. Gafarov, G. Paskalov, C. Lazzaroni, et al // Book of Ext. Abstr. of the 23rd Int. Symp. on Plasma Chem. (ISPC 23). — 2017. — P. 76–79.
6. Gafarov, I. et al. Investigation of the argon temperature modes in ICP-processing of glass-ceramics / Gafarov, I., Tovstopyat, A., Galeev, V., et al // Physics of Plasmas. — 2019. — Т. 26, №. 4. — P. 043510.
7. Райзер, Ю. П. Высоочастотный емкостный разряд: Физика. Техника эксперимента. Приложения / Ю. П. Райзер, М. Н. Шнейдер, Н. А. Яценко. — М.: Изд-во МФТИ. — 1995. — 320 с.
8. Митчнер, М. Частично-ионизованные газы / М. Митчнер, Ч. Кругер. — М: Мир. — 1976. — 396 с.

Анализ свободных колебаний в вибровискозиметрическом датчике

Захаркина Елена Ивановна, студент магистратуры

Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ)
(г. Саров, Нижегородская обл.)

В статье произведено описание принципа действия вибровискозиметра, показана схема датчика, произведен теоретический анализ собственных частот колебаний, выполнено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

Ключевые слова: вибровискозиметр, собственная частота, колебания, сенсор.

Объектом для анализа свободных колебаний является вибровискозиметр, созданный в УФИРЭ им. В. А. Котельникова для исследования вязкости многокомпонентных растворов. Схематично принцип действия датчика можно описать рисунком 1. Чувствительная (колебательная) масса подвешена на капиллярах.

Система возбуждения построена на основе пьезодвигателей, которые запитываются напряжением с нужной частотой. Численно она равна собственной частоте колебаний. Плоскость колебаний перпендикулярна плоскости, которую образуют трубки. Одна трубка выступает активатором, вторая — сенсором. Колебания трубки снимаются пьезодатчиком и представляют собой электрический заряд, который находится в прямой зависимости от амплитуды колебаний, которая, в свою очередь, пропорциональна вязкости.

С точки зрения теоретической механики, колебательная система, состоящая из нескольких звеньев, очень сложно поддается правильному и достоверному теоретическому расчету. В связи для проведения более точных расчетов используем САПР Mathcad.

На начальном этапе проектирования необходимо выполнить анализ свободных колебаний частей системы. Для создания этих колебаний достаточно отклонить от положения равновесия любой элемент системы. На рисунке 2 представлен график затухающих колебаний. На графике М1 — это возбуждающее колебание зонда, М01 и М02 — свободные колебания системы возбуждения и пьезосенсора.

Из графика видно, что колебания представляют собой набор гармоник и для выделения собственной частоты необходимо провести спектральный анализ данных сигналов. Это позволит оценить спектр свободных колебаний.

Такой сложный вид гармонических колебаний связан с особенностями расчета, сканирование по широкому спектру резко увеличивает время расчёта. Широкий диапазон обусловлен отсутствием достоверных данных о частотных характеристиках объекта. Для упрощения спектра используем классическое преобразование Фурье (рисунок 3,4). Максимумы (пики) — это частоты гармоник собственных колебаний частей системы.

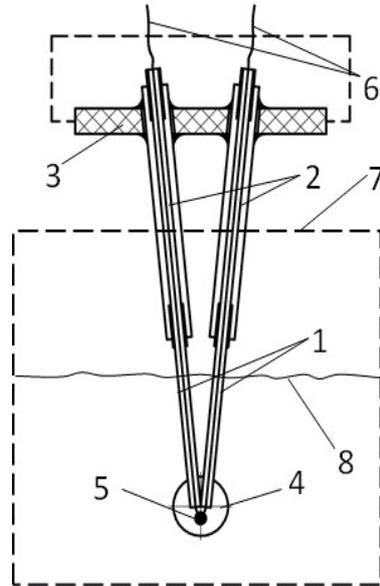


Рис. 1. Конструкция вибровязкозиметра: 1 — капилляр, 2 — пьезотрубки, 3 — статор, 4 — измерительный блок, 5 — датчик температуры, 6 — элементы выводного монтажа, 7 — исследуемая жидкость, 8 — пороговый уровень

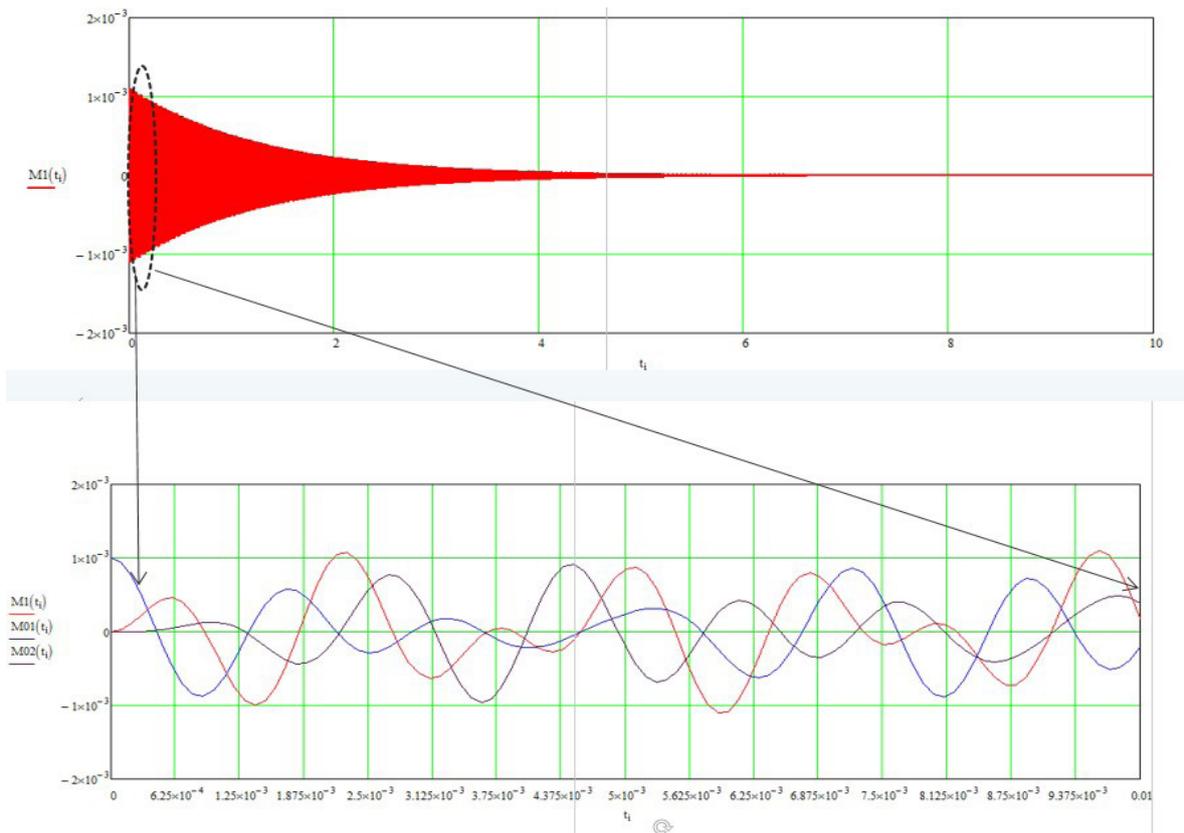


Рис. 2. Спектры колебаний

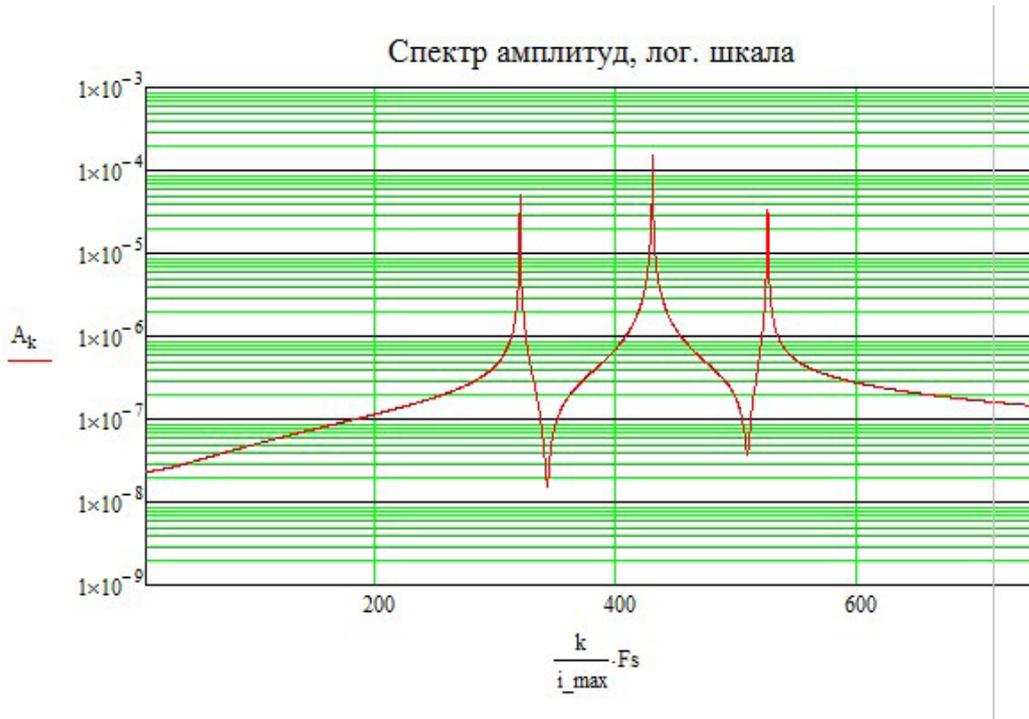


Рис. 3. Преобразование Фурье (логарифмическая шкала)

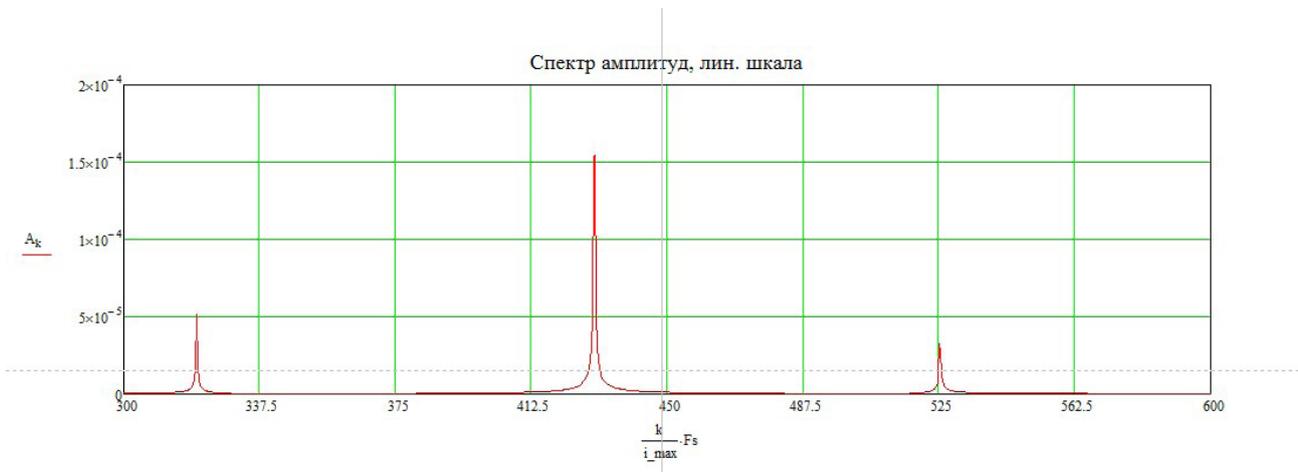


Рис. 4. Преобразование Фурье (линейная шкала)

Для определения соответствия каждого резонансного пика определенной части системы в модели производилось изменение массы с последующим анализом частотного смещения собственных гармоник после преобразования Фурье. По результатам моделирования установлено, что собственная частота зонда — 320–335 Гц (рисунок 5). Частота пьезодвигателя — 425–445 Гц (рисунок 6). Красный график описывает колебательную систему до изменения, синий — измененную систему.

Конечным результатом эксперимента является сравнение полученной модели свободных колебаний с экспе-

риментальными данными. Результаты данного сравнения показаны на рисунках 7 и 8.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод о том, что экспериментальные данные и данные, полученные в процессе моделирования, в большей степени соответствуют, но также наблюдаются расхождения у некоторых жидкостей, т. к. их физические свойства находятся в прямой зависимости от температуры, влажности, что нельзя учесть при моделировании.

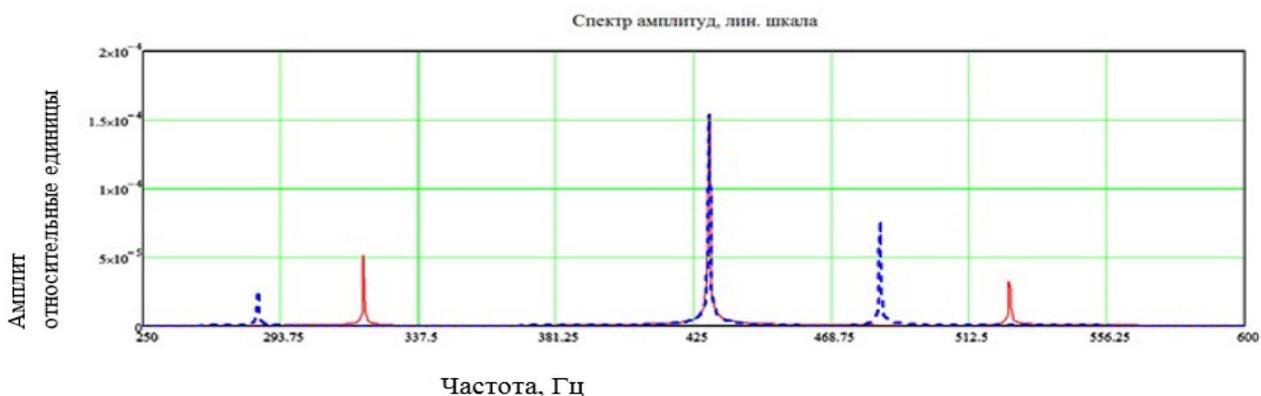


Рис. 5. Спектр зонда

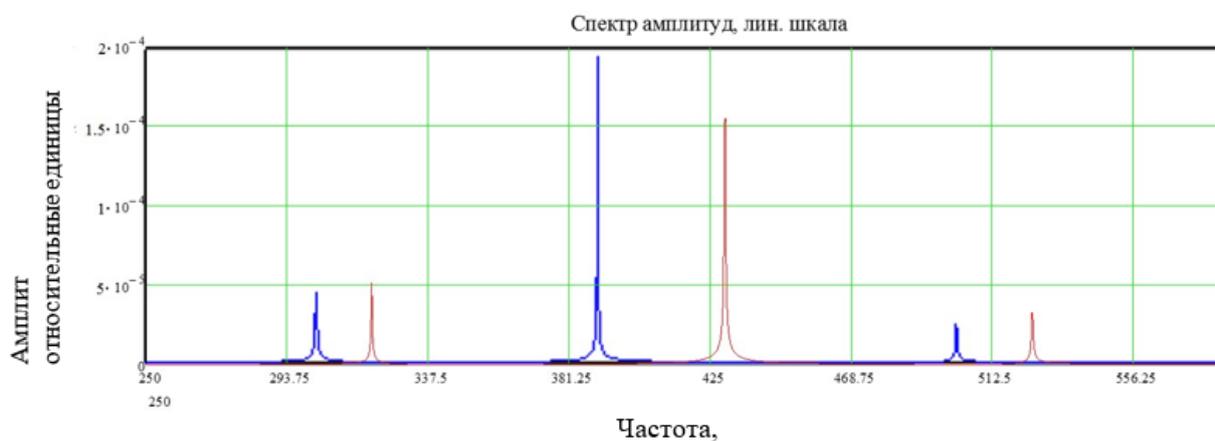


Рис. 6. Спектр пьезодвигателя

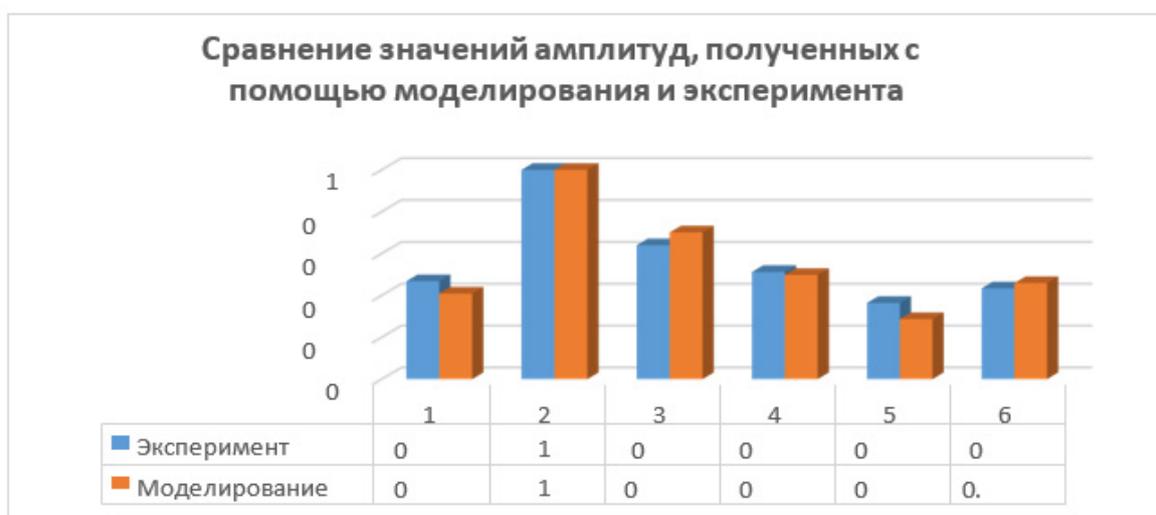


Рис. 7. Сравнение амплитуд свободных колебаний



Рис. 8. Сравнение частот свободных колебаний

Литература:

1. Соломин, Б. А. Миниатюрный высокочувствительный и быстродействующий вибровискозиметрический датчик/ Б. А. Соломин, А. М. Низаметдинов, А. А. Черторийский, М. Л. Конторович // Конструирование и производство датчиков, приборов и систем — 2015 — с. 3–8.
2. Г. Ф. Афанасьева. Вискозиметры стеклянные капиллярные образцовые. Методы и средства поверки/методические указания// — 1984 — с. 20–21.

Обзор проблем прихвата трубы и его прогнозирования

Исмаилзаде Тургуд Вугар оглы, студент магистратуры

Научный руководитель: Шмончева Елена Евгеньевна, доцент

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (г. Баку, Азербайджан)

В статье представлен анализ литературных источников, посвященных проблемам прихвата труб в скважине и статистическим методам для прогнозирования прихвата трубы. Подробно описаны причины возникновения прихвата в стволе бурящейся скважины. Проведенные исследования показали, что прихват трубы является постоянной и серьезной проблемой. Результаты показали, что основной причиной прихвата трубы является очистка ствола скважины и последующее образование подушки из-за твердых частиц, но прихваты при перепаде давления, геометрия ствола скважины и другие механические проблемы также играют важную роль в возникновении прихвата трубы.

Ключевые слова: прихват труб, перепад давления, геометрия ствола скважины, крутящий момент, силы сопротивления, статистические методы.

Overview of pipe sticking problems and its prediction

Ismayilzade Turgud Vugar, student master’s degree

Scientific adviser: Shmoncheva Elena Evgenevna, docent

Azerbaijan State University of Oil and Industry (Baku, Azerbaijan)

The article presents an analysis of the literature on the problems of pipe sticking in a well and statistical methods for predicting stuck pipe. The reasons for the occurrence of sticking in the wellbore of a drilling well are described in detail. Studies have shown that pipe sticking is a constant and serious problem. The results showed that the main cause of pipe sticking is wellbore cleaning and

subsequent solids cushioning, but differential pressure sticking, wellbore geometry and other mechanical issues also play an important role in causing stuck pipe.

Keywords: pipe sticking, pressure drop, wellbore geometry, torque, resistance forces, statistical methods.

Прихват трубы был серьезной проблемой при бурении, даже когда большинство скважин бурили вертикально. Уоррен написал одну из первых статей о прихваченной трубе [15]. В этом новаторском документе обсуждаются причины, профилактика и устранение прихвата трубы. Основные причины описываются как посадка, неправильный контроль бурового раствора, выбуренная порода, песок, обвалы и «комкование». Рекомендации по предотвращению прихвата буровых труб в основном касаются методов бурения, таких как удержание нейтральной точки ниже верха утяжеленных буровых труб, сохранение «прямого» ствола скважины, спуск расширителя на буровой колонне и недопущение ненадлежащего контроля бурового раствора за счет обеспечения надлежащей взвеси шлама и обеспечения низкой скорости фильтрации в пласт и избежание чрезмерно толстой фильтрационной корки. Многие из причин и методов аналогичны тем, с которыми отрасль имеет дело и сегодня.

В 1990 г. [3] опубликовали фундаментальную статью, которая часто цитируется в других статьях о прихвате трубы. В ней подробно описывается высокая стоимость прихвата трубы, а затраты и периодичность разбиваются на различные первопричины. Они пришли к выводу, что больше пользы можно получить, сосредоточив внимание на повышении производительности труда людей, а не на внедрении новых технологий. Компания добилась 70-процентного сокращения затрат на прихват трубы в масштабах всей компании, в основном за счет обучения по решению проблем прихвата труб буровой бригадой, и повышения осведомленности посредством скоординированной всемирной программы коммуникации.

В 2007 г. [18] описали еще одну внутреннюю инициативу компании по предотвращению прихвата труб [17]. Пятьдесят четыре процента проанализированных случаев прихвата трубы (58 из 108) произошли во время спуско-подъемных операций. Работа посвящена теме — мониторингу в режиме реального времени, который включал следующие темы:

- Мониторинг плана на этапе выполнения с использованием наземных и скважинных измерений
- Как распознавать и отслеживать тенденции, такие как тенденции крутящего момента и сопротивления, а также тенденции давления в кольцевом пространстве во время бурения, которые показывают эксплуатационной группе, что они ведут бурение в соответствии с планом или начинают отклоняться от него.

Отмечалась следующая частота различных причин прихвата трубы:

- 65 % от отложений, вызванных твердыми частицами;

- 21 % от перепада давления;

- 14 % из-за механических проблем и проблем с геометрией ствола скважины.

В статье было отмечено значительное улучшение в уменьшении прихватов труб, что было связано с обучением и практикой бурения. Были сделаны следующие выводы:

- Обучение является основным фактором снижения тяжести и последствий инцидентов, связанных с прихватом трубы.

- Основное внимание в обучении уделялось обеспечению надлежащей очистки скважины, поскольку это было определено как наиболее частая причина прихвата трубы.

- Мониторинг крутящего момента и сил сопротивления имел решающее значение для понимания очистки ствола скважины.

В [4] опубликовали важную статью в 2011, что позволило значительно улучшить ситуацию с прихватом трубы, хотя в этом случае основное внимание было уделено прихвату при перепаде давления. В документе описываются многолетние усилия ExxonMobil по снижению прихватов перепада давления за счет изменений в методах бурения, таких как конструкция компоновки низа буровой колонны (КНБК), дизайн, а также методы распознавания прочности корки на сдвиг.

В 2012 году оператор заметил повышенный риск прихвата трубы из-за недавнего увеличения буровых работ в истощенных коллекторах и коллекторах с повышенным риском [10]. Как и другие операторы до них, Saudi Aramco сформировала целевую группу, чтобы сосредоточиться на снижении затрат на прихвате труб. В 2009 г. 70 % прихватов труб произошло из-за механического прихвата и 30 % из-за перепада давления. Был разработан индивидуальный план обучения для сертификации персонала по бурению и капитальному ремонту каждые два года.

Эти статьи убедительно демонстрируют, что прихват трубы был и остается основным источником непроизводительного времени и затрат в буровой отрасли.

Первая статья, в которой предлагалось использовать статистический метод для прогнозирования прихвата трубы, была опубликована в 1987 [7]. С тех пор последовали многие другие, в том числе:

- Многофакторный статистический анализ ([16], 1990; [2], 1994; [8], 1994)
- Логистическая регрессия ([17], 1994)
- Нейронные сети ([14], 2006)
- Нечеткая логика ([11], 2009)
- Метод опорных векторов ([9], 2012; [13] 2013)
- Активные методы обучения ([12], 2013)

Эти статистические методы используют базы данных большого количества скважин. Обычно они используют ежедневные отчеты о бурении, отчеты об окончании скважины и другую записанную информацию для прогнозирования прихвата трубы. Входные переменные включают данные о траектории ствола скважины (такие как измененная глубина, истинная вертикальная глубина, угол наклона, степень искривления), данные о свойствах бурового раствора (такие как вес бурового раствора, пластическая вязкость, pH и т. д.), рабочие параметры (такие как нагрузка на долото, крутящий момент, нагрузка на крюк, давление насоса, расход на входе, скорость вращения на поверхности) и инженерные расчеты (такие как силы сопротивления). Фундаментальное ограничение применения этого подхода к прогнозированию прихвата трубы в режиме реального времени заключается в том, что условия, приводящие к прихвату трубы, часто возникают в течение нескольких минут или часов. Следовательно, требуются гораздо более высокие скорости передачи данных, чем те, которые доступны в ежедневных отчетах по бурению и отчетах по окончании скважины. Кроме того, использование свойств бурового раствора имеет смысл, но простой факт заключается в том, что они не измеряются достаточно часто на большинстве буровых установок, чтобы обеспечить время предупреждения, необходимое для предотвращения прихвата трубы. Были разработаны системы для непрерывного измерения основных свойств бурового раствора на буровой, но в настоящее время они широко не используются.

Другой подход заключался в использовании аналитических моделей для прогнозирования крутящего момента и сил сопротивления на основе плана и сравнения этих прогнозов с полевыми данными о крутящем моменте и силах сопротивления в реальном времени для прогнозирования прихвата трубы ([1], 1994; [6], 2012). Исполь-

зование данных о крутящем моменте и сопротивлении, таким образом, необходимо для прогнозирования начального прихвата трубы, но возможно, что надежность значительно повышается за счет включения других показателей, таких как давление в стояке и скорость потока.

Недавняя статья ([5], 2015) описывает использование метода рассуждений на основе прецедентов для прогнозирования прихвата трубы. Компьютерная система рассуждений на основе прецедентов использует распознавание образов для распознавания симптомов по мере их появления во время бурения. Программная платформа сравнивает ситуации в реальном времени с историческими случаями возникновения проблем, а затем вспоминает и представляет соответствующие случаи и передовые методы бурения из базы знаний инженеру в режиме реального времени. Приведен пример, когда удаленный сервисный инженер отслеживал события чрезмерного натяжения и сильного сопротивления при отрыве, которые могут привести к прихвату трубы. Индикаторы возможного прихвата трубы были обнаружены на радаре программного обеспечения, которое отображает сходство между прошлыми случаями и текущей ситуацией. В данном примере случаев прихвата трубы удалось избежать за счет инициирования процедур обратного расширения и контроля веса бурового раствора. Чтобы этот подход работал, следует отметить, что в базе данных должен быть установлен предыдущий случай.

Этот обзор литературы показывает, что были разработаны различные подходы к прогнозированию прихвата трубы.

Задача дальнейшего исследования состоит в том, чтобы разработать метод, который надежно обнаруживает все формы прихвата трубы, используя общедоступные данные с буровой установки.

Литература:

1. Belaskie, J.P., McCann, D.P., and Leshikar, J.F. 1994. A Practical Method To Minimize Stuck Pipe Integrating Surface and MWD Measurements. Presented at the SPE/IADC Drilling Conference, Dallas, Texas, 15–18 February. SPE-27494-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/27494-MS>.
2. Biegler, M.W. and Kuhn, G.R. 1994. Advances in Prediction of Stuck Pipe Using Multivariate Statistical Analysis. Presented at the SPE/IADC Drilling Conference, Dallas, Texas, 15–18 February. SPE-27529. <http://dx.doi.org/10.2118/27529-MS>.
3. Bradley, W.B., Jarman, D., Plott, R.S. et al. 1991. A Task Force Approach to Reducing Stuck Pipe Costs. Presented at the 1991 SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, 11–14. SPE-21999-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/21999-MS>.
4. Dupriest, Fred E., Elks, William C., and Ottesen, Steinar. 2011. Design Methodology and Operational Practices Eliminate Differential Sticking. SPE Drilling & Completion. SPE-128129-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/128129-PA>.
5. Ferreira, Ana Paula L. A., Carvalho, Daltro J. L., Rodrigues, R. M. et al. 2015. Automated Decision Support and Expert Collaboration Avoid Stuck Pipe and Improve Drilling Operations in Offshore Brazil Subsalt Well. Presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 4–7 May. <http://dx.doi.org/10.4043/25838-MS>.
6. Guzman, J. M., Khalil, M. E., Orban, N. et al. 2012. Stuck-Pipe Prevention Solutions in Deep Gas Drilling; New Approaches. Presented at SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium and Exhibition, Al-Khobar, Saudi Arabia, 8–11 April. SPE-160875-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/160875-MS>.
7. Hemphkins, W.B., Kingsborough, R.H., and Lohec, W.E. et al. 1987. Multivariate Statistical Analysis of Stuck Drillpipe Situations. SPE Journal. SPE-14181-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/14181-PA>.
8. Howard, J.A., Glover, S.B. 1994. Tracking Stuck Pipe Probability While Drilling. Presented at SPE/IADC Drilling Conference, Dallas, Texas, 15–18 February. SPE-27528-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/27528-MS>.

9. Jahanbakhshi, R., Keshavarzi, R., Aliyari Shoorehdeli, M. et al. 2012. Intelligent Prediction of Differential Pipe Sticking by Support Vector Machine Compared With Conventional Artificial Neural Networks: An Example of Iranian Offshore Oil Fields. SPE Drilling & Completion. SPE-163062-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/163062-PA>.
10. Muqem, M. A., Weekse, A. E., and Al-Hajji, A. A. 2012. Stuck Pipe Best Practices — A Challenging Approach to Reducing Stuck Pipe Costs. Presented at SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium and Exhibition, Al-Khobar, Saudi Arabia, 8–11 April. SPE-160845-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/160845-MS>.
11. Murillo, A., Neuman, J., and Samuel, R. 2009. Pipe Sticking Prediction and Avoidance Using Adaptive Fuzzy Logic Modeling. SPE Production and Operations Symposium, Oklahoma City, Oklahoma, 4–8 April. SPE120128-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/120128-MS>.
12. Naraghi, M. et al. 2013. Prediction of drilling pipe sticking by active learning method (ALM). Journal of Petroleum Gas & Engineering 4 (7): 173–183. <http://dx.doi.org/10.5987/JPGGE2013.0166>.
13. Poordad, Saeed; Chamkalani, Ali; Pordel Shahri, Mojtaba. 2013. Support Vector Machine Model: A New Methodology for Stuck Pipe Prediction. Presented at SPE Middle East Unconventional Gas Conference and Exhibition, Muscat, Oman, 28–30 January. SPE-164003-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/164003-MS>.
14. Siruvuri, C.; Nagarakanti, S.; Samuel, R. 2006. Stuck Pipe Prediction and Avoidance: A Convolutional Neural Network Approach. Presented at SPE/IADC Drilling Conference, Miami, Florida, U. S. A 21–23 February. SPE-98378-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/98378-MS>.
15. Warren, J.E. 1940. Causes, Preventions, and Recovery of Stuck Drill Pipe. API-40–030.
16. Weakley, R.R. 1990. Use of Stuck Pipe Statistics To Reduce the Occurrence of Stuck Pipe. Presented at SPE Annual Technical Conference & Exhibition, New Orleans, Louisiana, 23–26 September. SPE-20410-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/20410-MS>.
17. Wisnie, A.P.; Zhu, Zhiwei. 1994. Quantifying Stuck Pipe Risk in Gulf of Mexico Oil and Gas Drilling. Presented at SPE/IADC Drilling Conference, Dallas, Texas 15–18 February. SPE-28298-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/28298-MS>.
18. Yarim, Gokhan; Uchytal, Rodney J.; May, Richard B.; et al. 2007. Stuck Pipe Prevention—A Proactive Solution to an Old Problem. Presented at SPE Annual Technical Conference & Exhibition, Anaheim, California, 11–14 November. SPE-109914-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/109914-MS>.

Исследование влияния вида пробиотической закваски на потребительские свойства напитка

Кононенко Анна Евгеньевна, студент магистратуры
Тамбовский государственный технический университет

Целью работы является изучение процессов ферментации вторичного сырья ацидофильной закваской для получения напитка. В соответствии с целью исследования необходимо решить следующие задачи:

- 1) изучить: направления переработки пахты, биотехнологические аспекты переработки пахты, заквасочные культуры, рекомендуемые для сквашивания, процесс сквашивания пахты с помощью культур закваски;
- 2) выполнить экспериментальные исследования, провести обработку полученных результатов;
- 3) изучить состав, качество, физико-химические и органолептические показатели изготовленных экспериментальных образцов напитков.

В качестве объекта исследования использовали молоко коровье «Знаменское» пастеризованное, нормализованное и пахта, физико-химические свойства которых определяли на экспресс-анализаторе «Клевер — 1М», так же выполнена оценка показателей кислотности и вязкости

методами титруемой кислотности и истечения соответственно, полученные результаты приведены в таблице 1.

Подготовка среды, заквашивание и сквашивание
Для экспериментальной работы использовали закваски 3 видов, представленных в таблице 2.

Каждый вид закваски использовали для ферментации пахты и молока.

Проанализированное молоко и пахта разливались по емкостям по 0,5 кг, затем подогревались на водяной бане до рекомендуемой температуры заквашивания.

3 образца молока (М) и 3 образца пахты (П) заквашивались каждым из видов закваски в размере 1 г сухой закваски на 0,5 кг образца.

Сквашивание проводилось в термостате при температуре 37 °С для образцов М3 и П3 и при 40 °С для М1, М2 и П1, П2 в течении 10 часов. Через каждые 2 часа определялись показатели кислотности и вязкости, значения которых представлены в таблице 3.



Рис. 1. Схема эксперимента

Таблица 1. Показатели молока по прибору «Клевер — 1М»

Показатель \ Компонент	Коровье молоко	Пахта
Содержание жира, %	3,23	0,43
Содержание белка, %	2,7	2,74
СОМО, %	7,69	7,71
Плотность, кг/м ³	1026,19	1023,06
Кислотность, °Т	16	12
Вязкость, с	2	2

Таблица 2. Виды заквасок

Закваска	Видовой состав	Рекомендуемая °t сквашивания, °С	Производитель
№ 1	<i>Lactobacillus Acidophilus</i> A97 <i>Lactobacillus Acidophilus</i> A630	38–40	ООО «Лактосинтез»
№ 2	<i>Lactobacillus Acidophilus</i> <i>Streptococcus thermophilus</i>	38–40	ООО «Лактосинтез»
№ 3	<i>Lactobacillus Acidophilus</i> штаммы № 5е, № 3е, № 20Т, № 336, № 22п5, <i>Lactococcus lactis subsp. cremoris</i> , <i>Lactococcus lactis subsp. lsctis</i>	36–38	ФГУП «Экспериментальная биофабрика»

График изменения вязкости для образцов из молока представлен на рисунке 2.

График изменения вязкости для образцов из пахты представлен на рисунке 3.

График изменения кислотности для образцов из молока представлен на рисунке 4.

График изменения кислотности для образцов из пахты представлен на рисунке 5.

Таблица 3. Показатели образцов напитка после 10 часов сквашивания

Образец	М1	М2	М3	П1	П2	П3
Кислотность, °Т	52	70	27	65	64	23
Вязкость, с	3,4	4,4	2,9	3,6	3,7	2,8

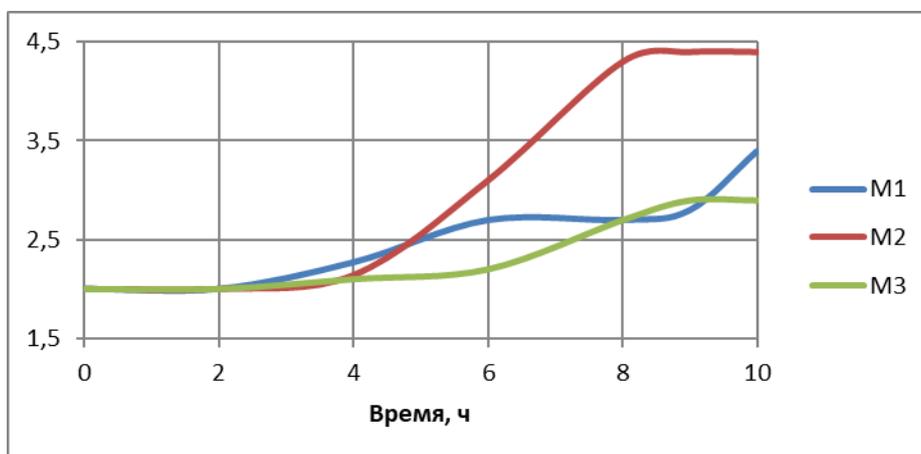


Рис. 2. График изменения вязкости образцов из молока

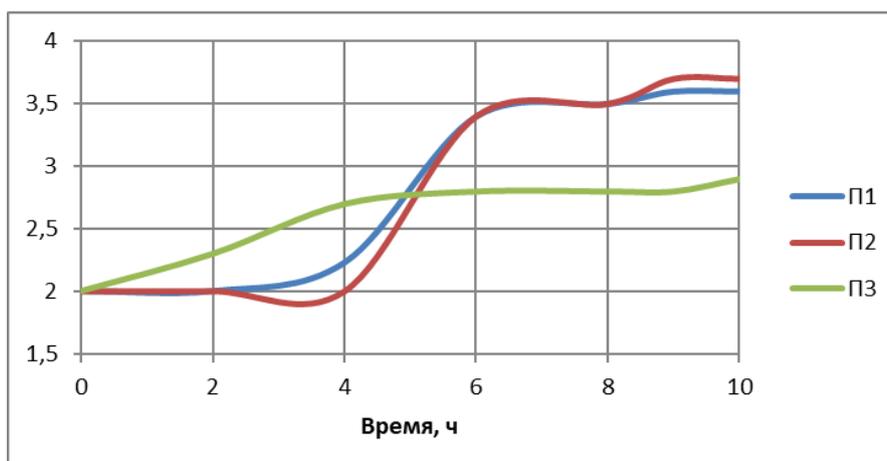


Рис. 3. График изменения вязкости образцов из пахты

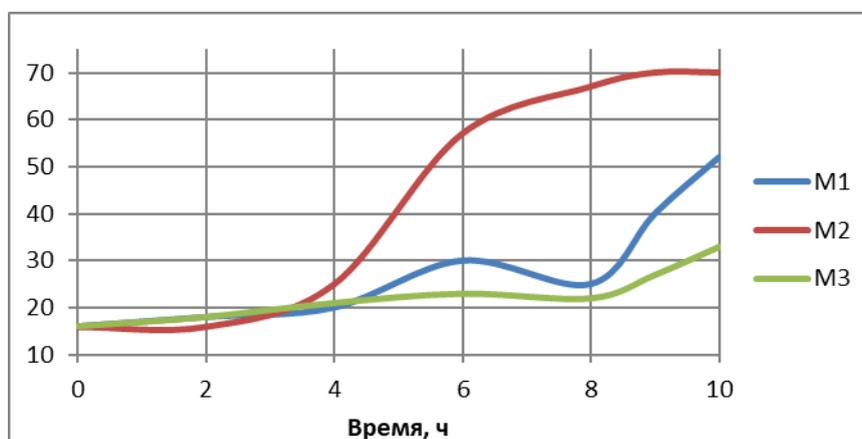


Рис. 4. График изменения титруемой кислотности образцов из молока

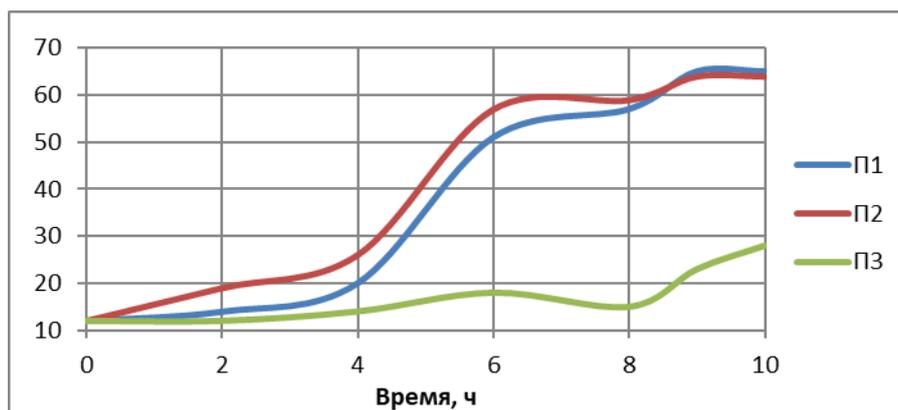


Рис. 5. График изменения титруемой кислотности образцов из пахты

Анализ образцов после 24 часов сквашивания

Образцы кисломолочных напитков М3 и П3 сквашивались при комнатной температуре 20–21 °С в течении 24 часов, а остальные образцы были помещены в холо-

дильник при температуре 5–6 °С. Оценка их по физико-химическим и органолептическим показателям представлена в таблицах 4, 5 соответственно.

Таблица 4. Показатели образцов напитка после 24 часов сквашивания.

Образец	М1	М2	М3	П1	П2	П3
Кислотность, °Т	95	87	84	68	70	63
Вязкость, с	15	4,4	2,9	3,6	3,8	3,8

Таблица 5. Органолептическая оценка образцов напитков после 24 часов сквашивания

Образец	Вкус	Цвет	Сгусток
М1	Кислый, мягкий	Белый	Плотный, слизистый
М2	Приятно-кислый	Белый	Плотный, равномерный, отошла сыворотка (белая)
М3	Кисломолочный	Белый	Грудкой
П1	Кисловатый, приятный	Белый	Не плотный, слабый, отошла сыворотка (жёлтая)
П2	Кислый, водянистый	Желтоватый	Грудкой, отошла сыворотка (жёлто-зелёная)
П3	Сливочный, кисломолочный	Белый	Однородный, слабой грудкой

На рисунках 6 и 7 представлены диаграммы по результатам органолептического анализа образцов из молока и пахты соответственно.

Исходя из данных диаграмм, можно сделать вывод о том, что у образцов из пахты получился менее плотный сгусток и немного ниже вкусовые качества.

У образцов, заквашенных закваской № 3, показатели не различаются, что говорит о том, что эти штаммы ацидофильной палочки легко адаптировались как в классическом сырье — молоке, так и в новой среде — пахте.

Анализ образцов после 72 часов сквашивания

На третьи сутки после заквашивания созревание образцов осуществлялось в холодильнике при температуре 5–6 °С. Физико-химические показатели их представлены в таблице 6.

Вывод:

- 1) в ходе анализа полученных значений измеренных величин было установлено, что кислотность образцов в течении всего времени сквашивания увеличивалась в среднем на 5 °Т первые 10 часов. Это свидетельствует о плавном нарастании кислотности, без резких скачков;
- 2) вязкость в течении суток увеличивалась медленно;
- 3) после 24 часов сквашивания образцы были полностью сквашены и имели хорошие органолептические показатели;
- 4) после 72 часов образцы были перекишими, в связи с не герметичностью упаковки и нарушений извне;
- 5) при термической обработке сгустки каждого из образцов нарушались и не восстанавливались.

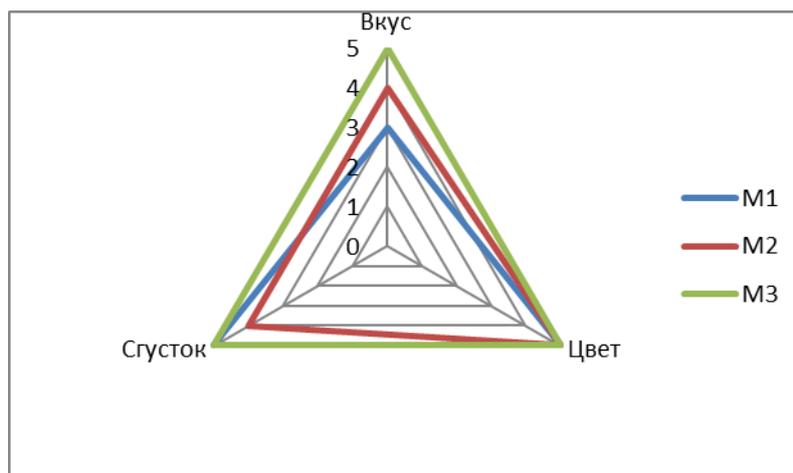


Рис. 6. Диаграмма по результатам органолептического анализа образцов из молока

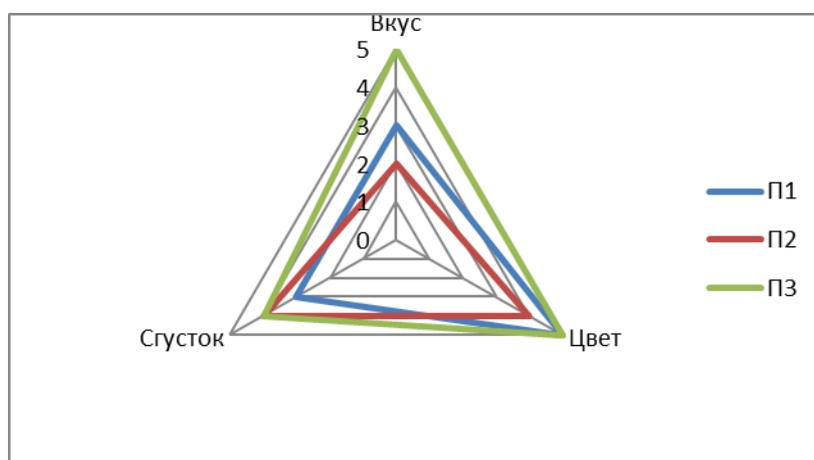


Рис. 7. Диаграмма по результатам органолептического анализа образцов из пахты

Таблица 6. Физико-химические показатели образцов напитка после 72 часов сквашивания

Образец	М1	М2	М3	П1	П2	П3
Кислотность, °Т	100	88	87	69	70	64
Вязкость, с	29	8,2	3	6,5	6	6

Литература:

1. Крусъ, Г. Н. Технология молока и молочных продуктов / Г. Н. Крусъ, А. Г. Храмцов, З. В. Волокитина, С. В. Карпычев; Под ред. А. М. Шалыгиной. — Москва: КолосС, 2013. — 455 с.
2. ГОСТ Р 53513–2009. Пахта и напитки на ее основе. Технические условия. — Введ. 2009–12–11. — М.: Стандартинформ, 2010. — 20 с.;
3. Зонин, Д. Скрытое сокровище // Молочная промышленность. — 2007. — № 1. с. 84–85
4. ГОСТ 33957–2016 Сыворотка молочная и напитки на ее основе. Правила приемки, отбор проб и методы контроля. — Введ. 2017–09–17. — М.: Стандартинформ, 2016. — 19 с.;
5. Огнева, О. А. Пектиносодержащие напитки с пробиотическими свойствами / О. А. Огнева, Л. В. Донченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2015. — № 107. — с. 333–341
6. Технология продуктов из вторичного молочного сырья: Учебное пособие. А. Г. Храмцов [и др.]. — СПб.: ГИОРД, 2011. — 424 с.

7. Пат. 2292145 Российская Федерация, А23С9/13. Композиция для производства кисломолочного профилактического продукта/ Мяло С. В.; заявители и патентообладатели: Мяло С. В., Гаврилова Н. Б. — 2004134816/13; заявл. 29.11.2004; опубл. 27.01.2007.
8. Пат. 2413419 Российская Федерация, А23С 9/12. Способ производства ферментированного напитка/ Просеков А. Ю.; заявители и правообладатели: Просеков А. Ю., Разумникова И. С., Крупин А. В., Короткая Е. В. — 2009134620/10; заявл. 15.09.2009; опубл. 10.03.2011.
9. Пат. 2468591 Российская Федерация, А23С21/00. Способ производства сывороточного напитка/ Кожухова М. А.; заявители и правообладатели: Кожухова М. А., Теркун Е. П., Холошенко О. В. — 2011151181/10; заявл. 14.12.2011; опубл. 10.12.2012.

Направленная ферментация молока при получении кисломолочного напитка

Кононенко Анна Евгеньевна, студент магистратуры
Тамбовский государственный технический университет

Синдром нарушения всасывания лактозы, согласно данным ВОЗ, встречается у 10–80 % людей и связан с отсутствием или недостаточной активностью у них фермента лактазы. Так, ферментопатия имеет место у 16–18 % восточных славян, гораздо чаще до 35–40 % у проживающих в северных регионах РФ. Причинами такого рода ферментопатии, обусловленной патологией тонкой кишки, могут быть наследственность, генная мутация и целиакия. Этой категории людей рекомендуют для включения в рацион либо ферментированные, либо специальные молочные продукты без лактозы или с низким ее содержанием [1].

Основная доля безлактозных молочных продуктов на российском рынке представлена импортной продукцией и для увеличения объемов этого сегмента продуктов российского производства необходимы исследования, для адаптации технологии безлактозных продуктов к условиям действующих молокоперерабатывающих предприятий.

Технологическим способом снижения содержания лактозы в продуктах является ферментативный гидролиз лактозы заквасочной микрофлорой. А основным распро-

страненным способом снижения содержание лактозы в молоке — это добавление в продукт фермента лактазы, который ускоряет гидролитическое расщепление до 98 % молочного дисахарида.

С целью адаптации технологии получения низколактозного кисломолочного напитка смешанного брожения для молочного предприятия была проведена серия экспериментов для определения условий ферментации молока-сырья и оценки качества изготовленного из него готового продукта.

Для изменения исходной концентрации лактозы в нормализованном молоке проводилась ферментация его путем добавления ферментного препарата — β -галактозидазы из расчета 700 Ед/г на 100 см³ молока. Процесс гидролиза продолжался в течение 5 часов при температуре 37–38 °С. Через равные промежутки времени в пробах молока определяли содержание лактозы рефрактометрическим методом. По результатам эксперимента построена кинетическая кривая изменения концентрации лактозы (рис. 1).

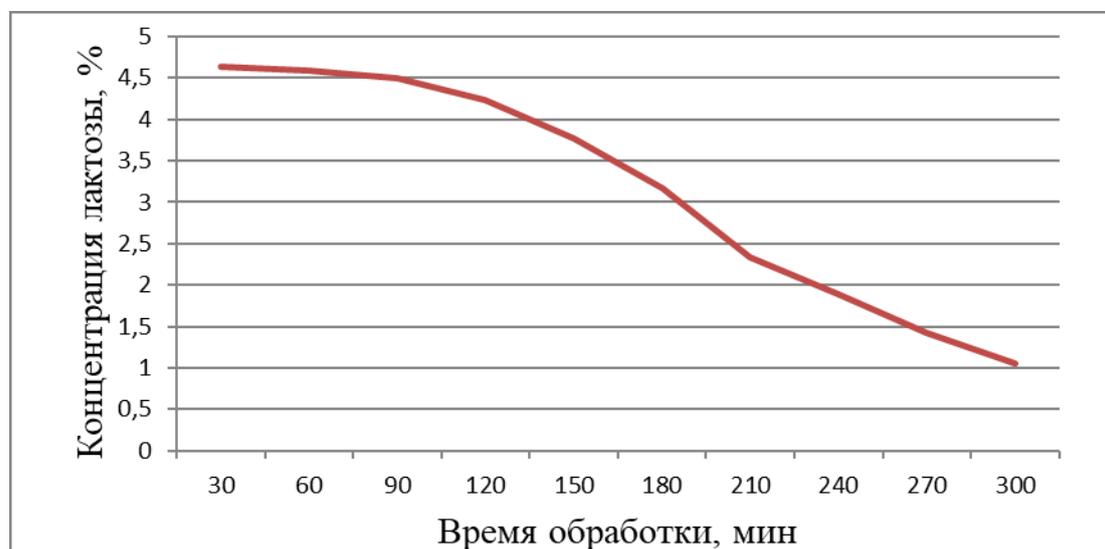


Рис. 1. График изменения концентрации лактозы

Математическая запись, выражающая зависимость изменения концентрации лактозы (y) при использовании ферментного препарата от времени гидролиза, имеет вид линейного алгебраического уравнения

$$y = 0.4277x + 5.5453.$$

В последующих экспериментах изменяли в пастеризованном молоке путем ферментации β-галактозидазой со-

держание лактозы в диапазоне от 5.2 % до 3.0 % и изучали динамику изменения концентрации углевода при сквашивании его микрофлорой кефирного грибка. В пять подготовленных образцов молока вводили биомассу в соотношении 1: 20. Сквашивание продолжалось в течение 48 часов в термостате при температуре 23°C (рис. 2).

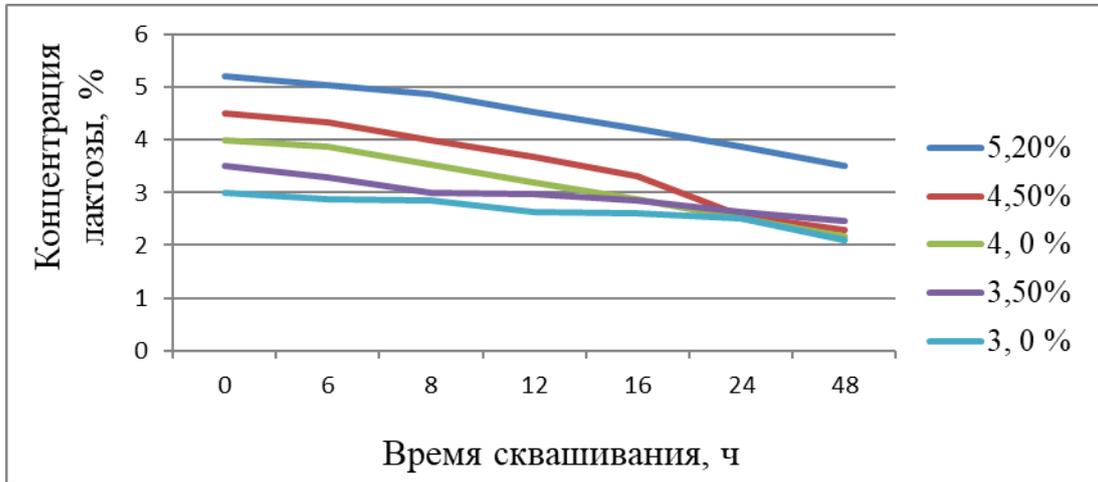


Рис. 2. Изменение концентрации лактозы в процессе сквашивания

Установлено, что в образцах напитка с исходным содержанием дисахарида в диапазоне от 5.2 % до 4.0 % концентрация лактозы при смешанном брожении изменяется с постоянной скоростью на протяжении всего процесса сквашивания. Характер кривых для образцов, с наименьшим исходным содержанием углевода — 3.5 % и 3.0 % показывает плавное снижение концентрации лактозы на

80 %, однако по истечении 8 часов изменение содержания дисахарида не наблюдается.

При проведении эксперимента наряду с определением содержания лактозы в образцах сквашиваемого молока измеряли показатели титруемой и активной кислотности. На рисунке 3 представлены величины титруемой кислотности через 24 часа и 48 часов.

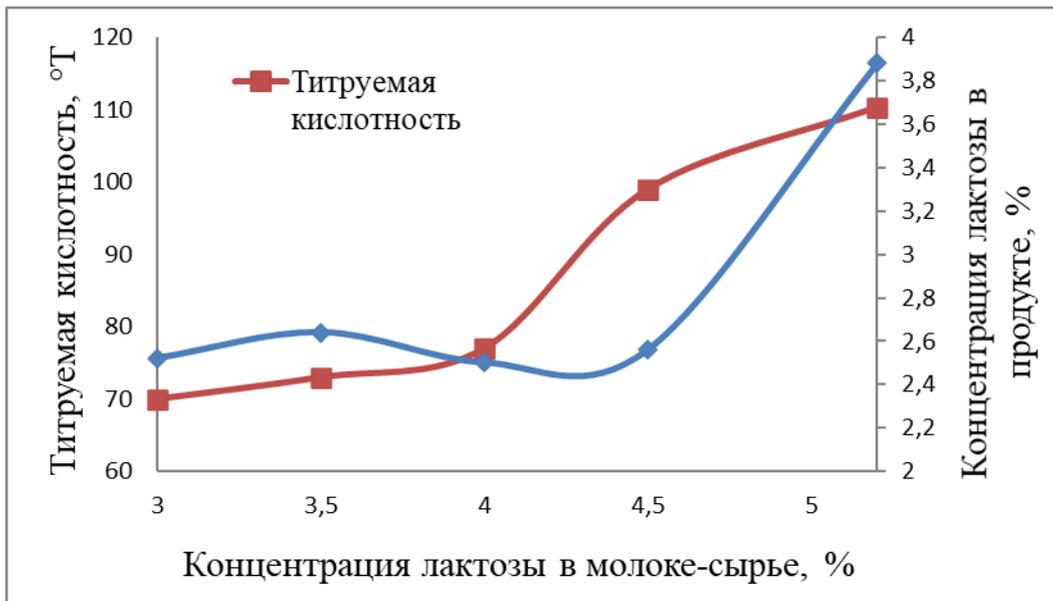


Рис. 3. Показатели кисломолочного напитка

Остаточное количество дисахарида в кисломолочном напитке колеблется в пределах от 2.1 до 3.5 %, что превышает в 2–3 раза рекомендуемую величину для категории

низколактозных продуктов [2]. Из данных следует, что для получения безлактозного напитка потребуется более глубокий гидролиз лактозы до 1.5–2.0 % с использованием

β -галактозидазы. Кислотность всех образцов напитка находится в пределах нормы: для слабого до 90 °Т, для среднего до 130 °Т.

Наряду с кислотностью важным признаком напитка являются его органолептические характеристики, в формировании которых принимают участие все микроорганизмы кефирного гриба. Изменение углеводного состава молока,

а именно появление в нем свободных моносахаридов глюкозы, галактозы в результате ферментативного гидролиза β -галактозидазой, спровоцирует активность отдельных представителей грибной микрофлоры, что повлечет за собой трансформация вкуса и состояния сгустка. На рисунке 4 приведены результаты дегустации образцов готового напитка на основе молока с разным количеством лактозы.

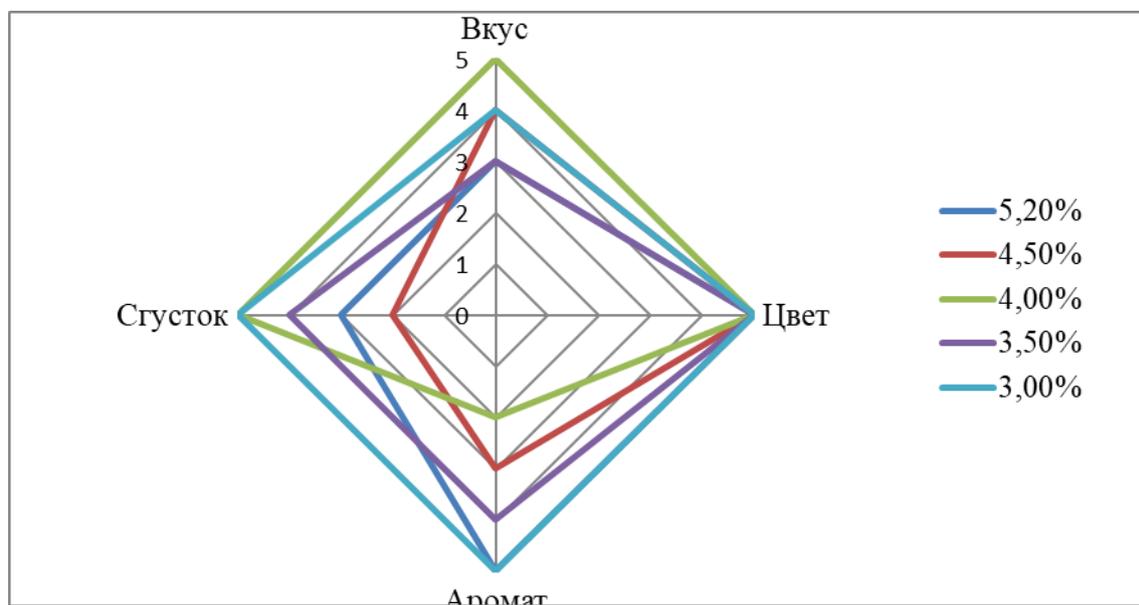


Рис. 4. Органолептическая оценка образцов кисломолочного напитка из ферментированного β -галактозидазой молока

Таким образом установлено, что для получения низколактозного напитка можно рекомендовать снижение лактозы на 1.5–2.0 % путем гидролиза с использованием β -галактозидазы в течение 15 минут при температуре 37–38 °С. Корреляционный анализ *взаимосвязи* между концентрацией лактозы и кислотностью напитка показал вы-

сокую тесноту связи между рассчитанными параметрами. Установлены оптимальные пределы варьирования состава безлактозного кисломолочного напитка для удовлетворения потребительских свойств: массовой доли жира в нормализованной смеси — 3.2 % и концентрации лактозы в пределах 4.0–3.0 %.

Литература:

1. Великанова, А. С. Изучение влияния технологических условий при изготовлении низколактозного кисломолочного напитка/ А. С. Великанова, А. И. Бушковская, У. В. Ланцова// Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития: сборник научных статей молодых ученых, аспирантов и студентов. Выпуск VIII. — Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ» 2016. — с. 91–94.
2. Великанова, А. С. Формирование потребительских свойств молочных напитков методами биотехнологии/ А. С. Великанова, О. В. Зюзина, У. В. Ланцова, А. С. Надеждина// Агротехнологические процессы в рамках импортозамещения: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения заслуженного работника высшей школы РФ, доктора с.-х. наук, профессора Ю. Г. СКРИПНИКОВА. — Мичуринск-наукоград РФ 2016. — с. 14–18.

Постановка задачи исследования процессов для надёжной герметизации скважин

Садыгова Айгюль Эльдар гызы, студент магистратуры

Научный руководитель: Шмончева Елена Евгеньевна, доцент

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (г. Баку)

В последние годы в связи с необходимостью увеличения добычи нефти и газа, увеличиваются объёмы бурения скважин, в разработку и эксплуатацию вводятся новые нефтяные месторождения, растёт потребность в качественных буровых растворах и тампонажных материалах и др. На повестке дня стоит также проблема надёжности и качества цементирования скважин. Эффективные средства защиты не только увеличивают срок службы оборудования и коммуникаций, но и повышают их эксплуатационную надёжность, а, следовательно, и способствуют решению задач охраны окружающей среды от аварийных утечек нефти, газа и сточных вод.

Ключевые слова: тампонажные материалы, цементирование скважин, цементные системы, контракция, седиментационная устойчивость, герметизация.

Statement of the problem of studying processes for reliable sealing of wells

Sadigova Aygul Eldar, student master's degree

Scientific adviser: Shmoncheva Elena Evgenyevna, docent

Azerbaijan State University of Oil and Industry (Baku, Azerbaijan)

In recent years, due to the need to increase oil and gas production, well drilling volumes are increasing, new oil-producing areas are being put into development and operation, oil fields are being developed, the need for high-quality drilling fluids and grouting materials, etc. is growing. The problem of reliability is also on the agenda. and quality of well cementing. Effective means of protection not only increase the service life of equipment and communications, but also increase their operational reliability, and, consequently, contribute to solving the problems of protecting the environment from emergency oil, gas and wastewater leaks.

Keywords: cementing materials, well cementing, cement systems, contraction, sedimentation resistance, sealing.

Как показывают исследования, получению и практическому внедрению новых высокоэффективных тампонажных материалов, а также химерагентов предшествовали глубокие фундаментальные научные исследования реологических, структурно-механических, ингибирующих свойств различных составов и соединений в зависимости от их строения, наличия различных функциональных групп в их структурах, при этом были установлены соответствующие механизмы многих процессов.

Разработки, проводимые в институтах и на местах ведения буровых работ, привели к созданию реагентов многоцелевого назначения с двумя, тремя и большим числом функций [1, 4].

Несмотря на высокие полифункциональные качества, многие новые реагенты остаются невостребованными из-за сложности процессов их получения, высоких финансовых затрат на изготовление целевых продуктов и только отдельные реагенты и отходы становятся базовыми продуктами, на основе которых создаются рецептуры для производства буровых растворов.

Выполняя краткий обзор патентной и научной литературы, была получена информация об интенсивной работе различных компаний и научных, проектных организаций в области разработки новых буровых и тампонажных растворов, технологий цементирования скважин. Свидетельством тому является производство химических реагентов и уникальных систем малоглинистых, безглинистых рас-

творов для бурения и заканчивания вертикальных и горизонтальных скважин различными компаниями, в частности компаниями «МІ Дриллинг Флюидз К°ЛТД», Baroid, российскими компаниями. Некоторые из них остаются одними из лидеров в области разработки новейших систем растворов, которые максимально увеличивают скорость бурения и до минимума сокращают осложнения.

Исследования и опыт показывают, что технология цементирования скважин применяется уже больше 100 лет; в различных разработках участвуют специалисты разного профиля — химики и инженеры (буровики, разработчики, механики), которые продолжают разрабатывать новые составы, материалы и технологии, а также совершенствовать существующие. Например, одним из важных направлений исследований и разработок является проблема надёжности и долговечности разобщения пластов в течение и по окончании срока эксплуатации скважины. Современные цементировочные системы могут содержать эластичные частицы и волокна, обеспечивающие устойчивость затвердевшего цемента к большим механическим нагрузкам. Самые современные «самозалечивающиеся» цементные системы содержат «интеллектуальные» материалы, которые в случае нарушения цементной оболочки разбухают при контакте с водными или пластовыми жидкостями и восстанавливают изоляцию пластов [2]. Конечная цель этих технологий цементирования — обеспечить устойчивость к различным условиям и нарушениям,

которые могут возникать с течением времени, и обеспечить разобщение пластов на длительный период.

Анализ показывает, что на смену прежним промышленным реагентам и технологиям приходят всё более эффективные. Несмотря на это, проблема поиска рецептур доступных по технологическим, экономическим, экологическим и географическим соображениям составов и добавок к буровым и тампонажным растворам остаётся актуальной, требуя постановки и проведения целого ряда комплексных исследований.

Прежде всего настоящие исследования должны быть направлены на развитие и совершенствование научных основ регулирования основных составов буровых и тампонажных растворов, а также обоснования области их применения. Они должны предусматривать также возникающую в процессе исследований необходимость познания новых явлений, изучения и изыскания путей для объяснения ранее неизвестных закономерностей, выявления причин недостаточности выполненных ранее исследований, восполнения в той или иной степени пробелов в исследованиях рассматриваемой проблемы, в данном случае, проблемы качественного крепления стенок скважин и др.

Трудности, возникающие в процессе поиска новых научных решений, наиболее отчетливо становятся за-

метными в ситуациях, когда существующие научные положения, их уровень, применяемые в процессе их разработки методы оказываются недостаточными для решения новых задач, постановка которых исходит из анализа ранее приобретённого опыта, выявления противоречий (если они есть) в накопленных к настоящему времени исследованиях, а также обоснования необходимости дальнейшего развития отдельных направлений проблемы [3].

Ввиду разных условий бурения и осложнённости выбор цементных растворов должен производиться в соответствии с данной ситуацией, отвечать также и экономическим и экологическим требованиям. Важным является опыт бурения скважин, анализ результатов применения различных составов с учётом отмеченных требований.

На рисунке 1 показана схема исследования, отразившая цель, задачи, объект и методы исследований.

Вывод. Для надёжной герметизации заколонного пространства требуется проведение дополнительного анализа способов цементирования, а также экспериментальные и промысловые исследования. Эти работы нужно направить на более глубокое изучение процессов контракции и седиментационной устойчивости.

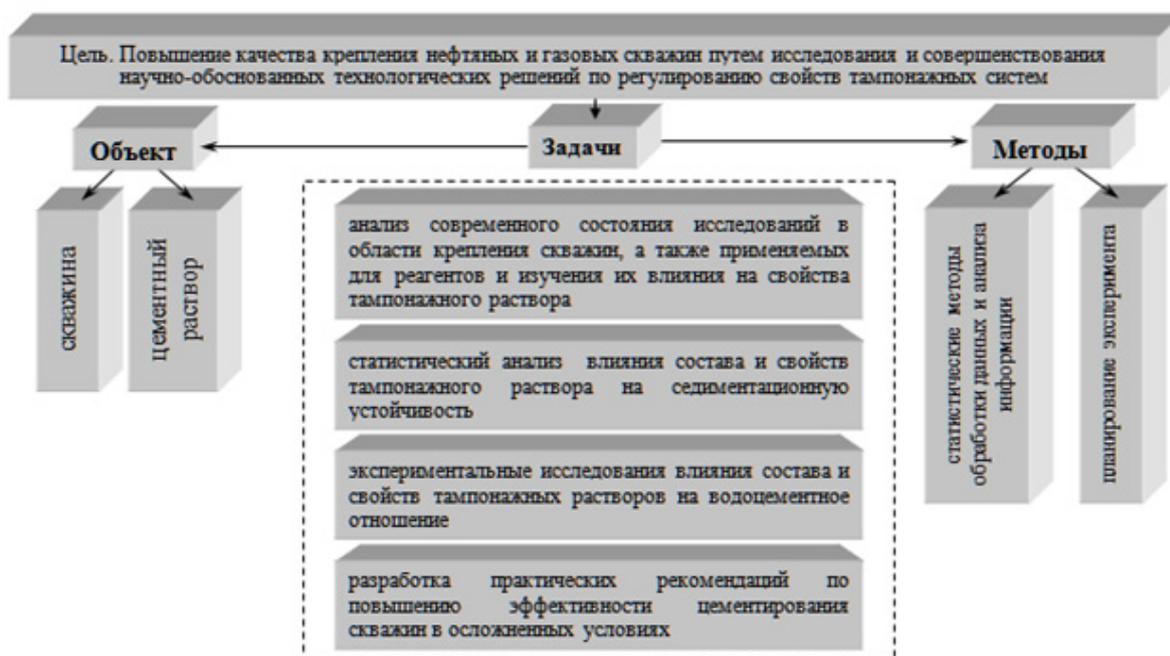


Рис. 1. Схема исследования

Литература:

1. Кожевников, Е. В. Исследование влияния свойств тампонажного раствора на качество цементирования горизонтальных скважин // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. — 2014. — № 1. — с. 115–118.
2. Нельсон, Э. Б. Основные принципы цементирования скважин. Нефтегазовое обозрение, том 24, № 2, 2012, Copyright © 2013 Schlumberger, с. 76–78.

3. Пестерев, С. В., Фатхутдинов И. Х., Дацков А. В. Новые добавки для эффективного решения технологических задач при цементировании скважин. Специализированный журнал «Бурение и нефть», 2010, № 11(ноябрь). burneft.ru/archive/issues/2010-11
4. Сулейманов, Э. М. Цементирование скважин в осложнённых условиях. Palmarium academic publishing, Germany, 2012, 178 с.

Обзор типов горизонтальных скважин

Салманзаде Хабиб Джамиль оглы, студент магистратуры
Научный руководитель: Исмаилов Назим Алигусейн оглы, PhD
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (г. Баку)

Современное состояние мировой практики бурения скважин показывает, что важное место заняли технологии бурения горизонтальных скважин.

Важность данной технологии объясняется тем, что она позволяет не только увеличить дебит скважин, но и увеличить срок их службы.

Принимая во внимание достойный производственный опыт бурения наклонно-направленных скважин на шельфе Каспия и на суше Абишеронского полуострова, SOCAR ориентируется в дальнейшем на развитие бурения горизонтальных скважин в Азербайджане.

В статье представлен обзор технологий бурения горизонтальных скважин, отмечены высокая доходность и большие преимущества, показаны значительные экономические выгоды по сравнению с вертикальными скважинами и экономия средств.

Ключевые слова: горизонтальные скважины, фишбон, рыболовный крючок, точное управление, тонкая скважина, бурение на депрессии.

На нефтяных месторождениях бурят такие типы горизонтальных скважин: преобладающие традиционные горизонтальные скважины, комплексные скважины, которые решают технические проблемы и горизонтальные скважины с боковыми стволами, предназначенные для раскрытия потенциала залежи [1].

Горизонтальные скважины имеют следующие особенности:

1. Большой масштаб охвата и производительность

Так на примере месторождения Ляохэ количество горизонтальных скважин, пробуренных в 2008 г., было самым высоким — до 223. Количество горизонтальных скважин, пробуренных в 2011 г., составило 157, что составляет 46 % скважин, пробуренных за год; объем по добыче нефти 0,7 млн. тонн, что составляет 67 % от всех новых скважин, пробуренных за год [2].

2. Большой объем добычи и преимущества

Дебит нефти в горизонтальных скважинах составил 7077 т/сут; средняя односкважинная добыча нефти из горизонтальных скважин составляет 10,3 т/сут, что в 4,6 раза выше, чем у вертикальных скважин; горизонтальные скважины, составляющие 6,8 % всех скважин, дают 24 % общей добычи, а период окупаемости обычно составляет 1–3 года [2, 3].

3. Широкое применение

Технологии горизонтальных скважин широко применяются при разработке новых блоков, изменении режима разработки тяжелой нефти, вторичной разработке старых

месторождений, оценке и разработке трудноизвлекаемых запасов, прогрессивной разведке и т. д. [4]

Рассмотрим несколько основных технологий бурения горизонтальных скважин:

1. Технология горизонтальной скважины в форме рыбьей кости (фишбон).

Преимущество заключается в максимальном увеличении контактной поверхности [1].

Типичная скважина может иметь самое большое количество отводов (20 фишбонов рис. 1) и самая длинная проходка в пласте (4333 м). На начальном этапе добычи при использовании насадки 4 мм суточная добыча нефти составляла 48,4 т, что в 24 раза превышало средний дебит нефти вертикальных скважин на том же блоке.

Продуктивность составляет 162 % по сравнению с обычной горизонтальной скважиной.

2. Специальная технология проектирования траекторий горизонтальных скважин.

Горизонтальная скважина в форме рыболовного крючка (Fishhook).

В соответствии с характеристиками резервуаров сверхтяжелой нефти с кромочной или верхней водой, технология проектирования траектории рыболовного крючка горизонтальной скважины была инновационной, предложена для обеспечения того, чтобы промежуточная обсадная колонна могла эффективно герметизировать кромочную или верхнюю воду (рис. 2) [1].

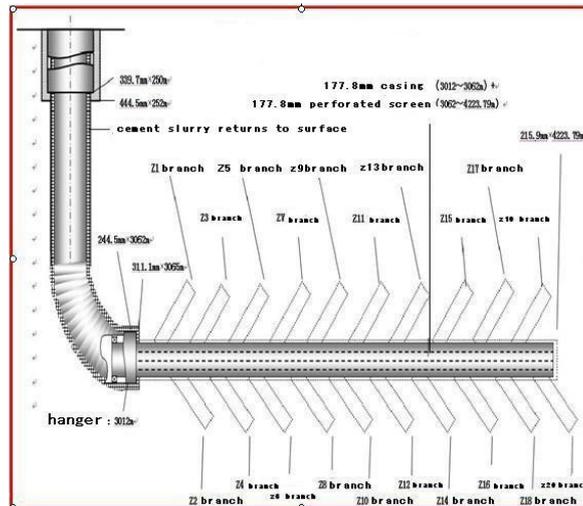


Рис. 1. Фишбон-технология



Рис. 2. Скважины Fishhook

3. Технология точного управления траекторией горизонтальной скважины.

Горизонтальные скважины SAGD.

Пара горизонтальных скважин SAGD имеет два основных параметра: выравненность и параллельность их горизонтальных участков. При бурении традиционные инструменты не обеспечивают распараллеливания их горизонтальных участков даже при использовании одного и того же набора инструментов. Это связано со значительной накапливаемой погрешностью измерения. С увеличением горизонтальных участков увеличивается сум-

марная погрешность измерений. Так, для обеспечения точного управления траекторией горизонтальной скважины SAGD внедрен MGT (Magnetic Guidance Tool) от компании Halliburton (рис. 3) [1, 2, 5].

4. Более тонкая и глубокая скважина

Экономия на обсадной колонне одиночной скважины составляет 99,46 т, шлама — 114,51 м³, цемента — 98,64 т. [1]

Срок бурения сокращен на 18 дней. Снижение стоимости бурения одной скважины составляет 801093 манат (рис. 4).



Рис. 3. Схема бурения с инструментом MGT

Повторное использование старых скважин большого диаметра.

Эта операция сделала возможной экономию затрат на одну скважину до 10948274 манат (рис. 5).

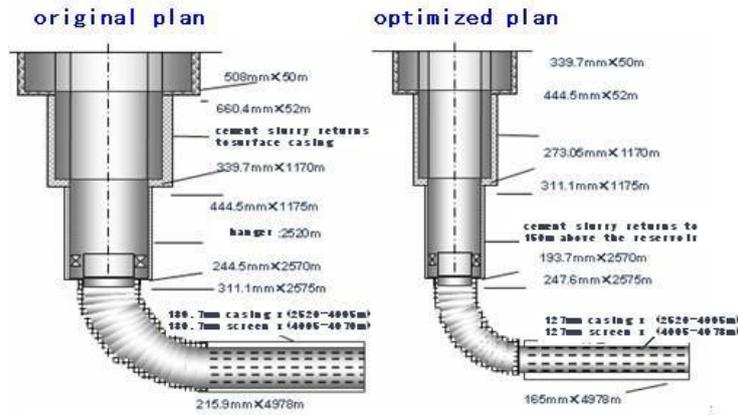


Рис. 4. Диаграммы более тонкой и глубокой скважины

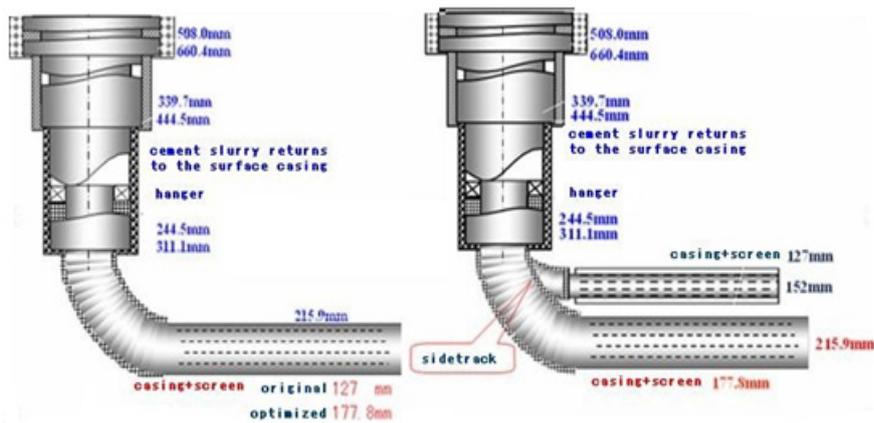


Рис. 5. Повторное использование старой скважины с большим диаметром

5. Бурение на депрессии.

Бурение на депрессии является второй наиболее конкурентоспособной технологией после горизонтальной скважины. С развитием технологии бурения на депрессии был найден характерный способ совместного применения технологий бурения на депрессии и горизонтальной скважины, что эффективно решило проблему разработки низконапорных коллекторов.

Практика показывает, что скорость бурения оказывается выше на 22 %, период бурения на пять дней короче, а производительность одиночной скважины в 10 раз выше.

Выводы.

В статье были обобщены технологии бурения горизонтальных скважин и дан обзор некоторых достижений. В частности, такие технологии, как скважина «рыбий скелет», пара горизонтальных скважин SAGD, многоствольная скважина, комплексная скважина, скважина с боковым стволом, интеграция технологий горизонтальной скважины и бурения на депрессии.

По мере углубления разведки и разработки нефти возникнут новые технические проблемы. Это потребует инновационных исследований для дальнейшего продвижения технологий бурения горизонтальных скважин.

Литература:

1. Application Study on Multilateral Well Drilling and Completion Technologies. Petroleum Drilling Techniques, Issue 6 of Volume 29 (2001): 11–13.
2. Guoliang Dong. Application of Underbalanced Drilling Technology in Northeast China. West China Exploration Engineering, Issue 121 (05–2006): 177–179.

3. Xie Guoming. New Developments of Cutting-edge Drilling Technologies. Jiangnan Shiyou Keji, Issue 1 of Volume 15 (03.2005): 34–39.
4. Муслимов, Р. Х. Пути повышения эффективности использования горизонтальных скважин для разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений. Георесурсы. 2016. Т. 18. № 3–1. с. 146–153.
5. Горизонтальные скважины наклонно направленного бурения. Нефть. Газ. Новации. 2017. № 3. с. 28–31.

Подход к расчету вероятности нерегламентированного воздействия на технику во время технического обслуживания

Сивопляс Максим Андреевич, адъюнкт

Военная академия РВСН имени Петра Великого, филиал в г. Серпухове Московской области

При проведении технического обслуживания потенциально опасной техники при участии руководителя возможны ошибочные действия, которые приводят к нерегламентированному воздействию на объект технического обслуживания. В связи с этим поставлена задача разработки математической модели для оценки вероятности нерегламентированного воздействия на потенциально опасную технику в условиях технического обслуживания. Анализ алгоритма выполнения операции в рамках технического обслуживания позволил выделить состояния безопасности процесса.

Ключевые слова: безопасность технической обслуживания, марковский процесс, система уравнений Колмогорова, вероятность совершения ошибки.

Процесс проведения технического обслуживания (ТО) потенциально опасной техники обычно проводится расчетом, который включает в себя номера расчета и руководителя. Обязанности номеров расчета состоят в выполнении операций ТО, а именно действий с объектом ТО в соответствии с документацией. Обязанности руководителя состоят в подаче команд конкретному номеру расчета для выполнения операции и контроле правильности выполнения действий.

При этом на практике во время проведения работ по техническому обслуживанию допускаются ошибочные действия персонала, которые приводят к нерегламентированному воздействию на технику и в следствии проявления опасности объекта технического обслуживания.

Постановка задачи. Таким образом в условиях проведения технического обслуживания потенциально опасной техники при участии руководителя и исполнителей необходимо оценить вероятность нерегламентированного воздействия на технику.

Теоретическая часть. Алгоритм выполнения операции приведён на рисунках 1, 2 в виде блок-схемы. Исходными данными для проведения ТО принято количество операций, определенных документацией. Операции ТО выполняются до тех пор, пока не будут выполнены все операции, поэтому введен оператор цикла. В теле цикла во время выполнения отдельной операции, руководитель подает команду. Номер расчета воспринимает команду, вспоминает и осознает порядок выполнения своих действий для поданной команды. Руководитель оценивает понимание команды номером расчета по прямым и косвенным признакам. Затем номер расчета приступает к выполнению действий операции, при этом

руководитель оценивает правильность выполняемых действий, по окончании которых операция считается выполненной. При выходе из цикла ТО заканчивается. Описанный порядок выполнения является регламентированным и поэтому состояние процесса ТО является безопасным.

Во время выполнения операции персонал может допускать ошибки и совершать нерегламентированные действия, что приводит к потенциально опасным и опасным состояниям процесса ТО. Потенциально опасное состояние процесса ТО — это состояние, которое характеризуется отклонением от установленного проведения работ, при этом нерегламентированное воздействие на потенциально опасную технику не оказано. Тогда как опасное состояние характеризуется совершением нерегламентированного воздействия на потенциально опасную.

Так на практике руководитель может подать неправильную команду, к примеру нарушить последовательность выполнения операций, в следствии чего процесс ТО принимает потенциально опасное состояние, что на блок-схеме изображено ветвью 2.

В этом случае номер расчета воспринимает, вспоминает и осознает порядок своих действий и с учетом собственного опыта и знаний может определить неверно поданную команду, что приведет к безопасному состоянию процесса ТО по ветви 1. При условии определения неверно поданной команды, номер расчета уточняет у руководителя соответствие ее документации на ТО, после чего руководитель подает команду заново. При условии, что номер расчета не определил неверную команду и выполнил ее, процесс ТО принимает опасное состояние. Помимо этого, номер расчета может не понять полученную

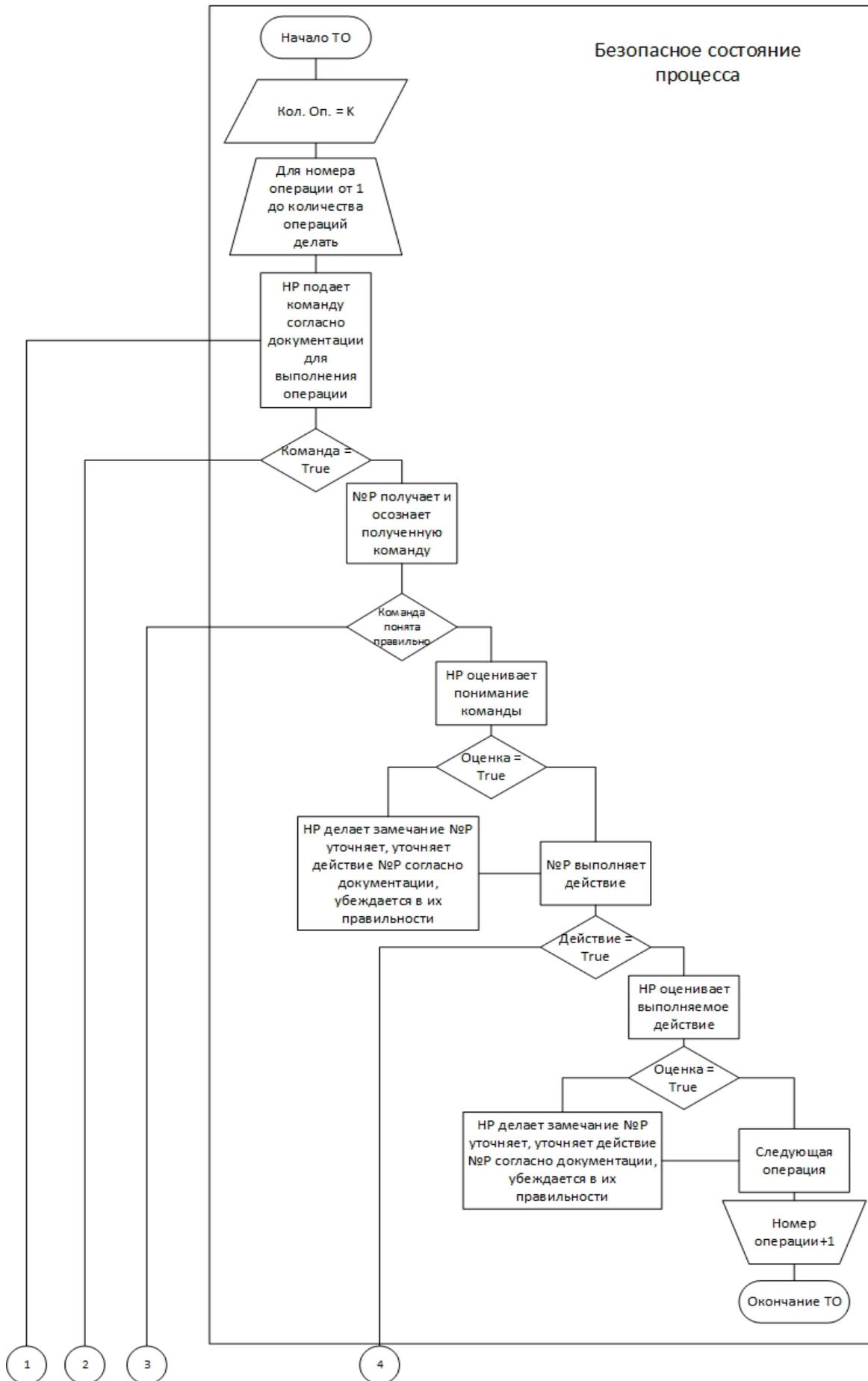


Рис. 1. Блок-схема алгоритма выполнения ТО

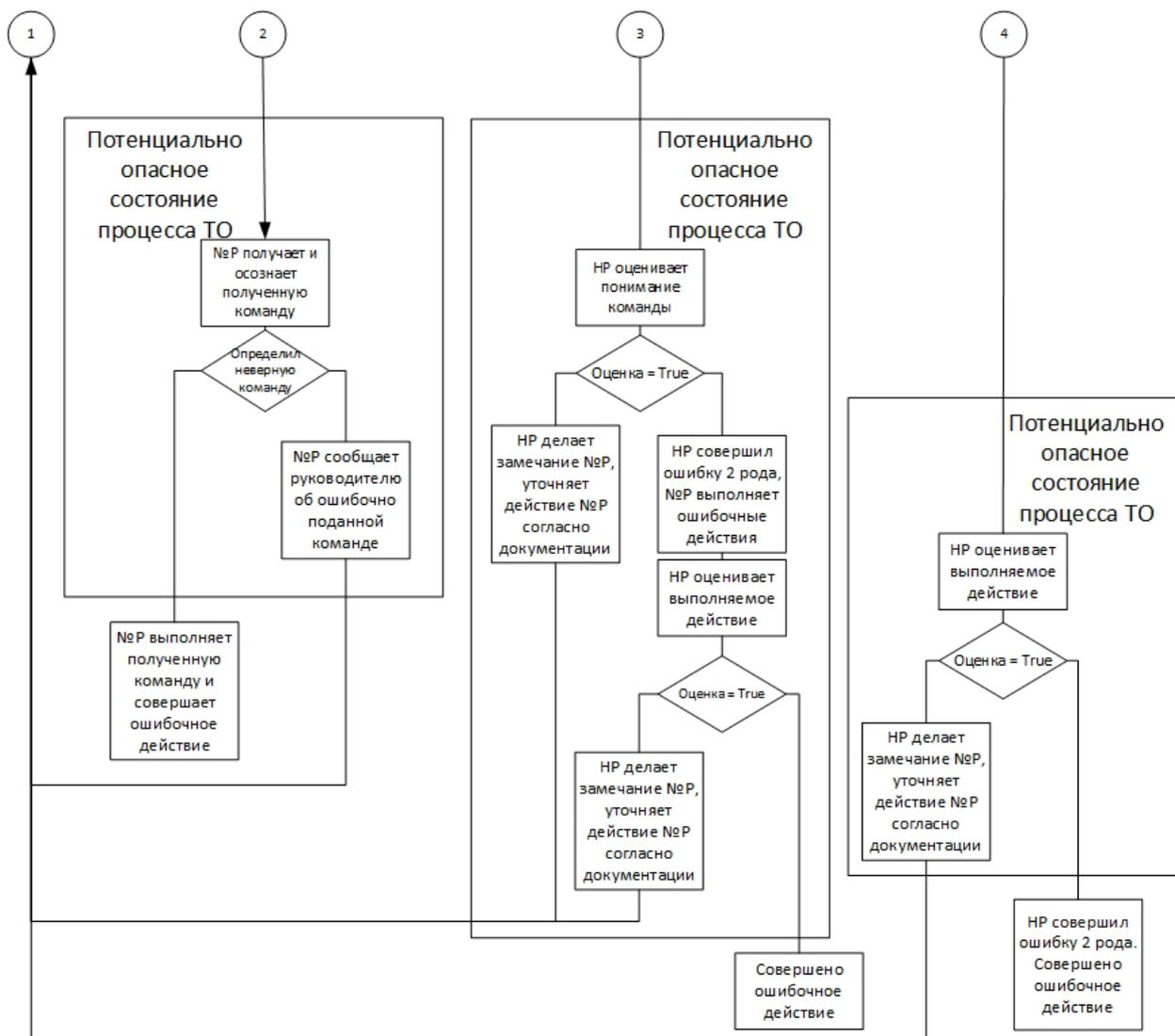


Рис. 2. Продолжение блок-схемы алгоритма выполнения ТО

правильно поданную команду, что на блок-схеме изображено ветвью 3.

Руководитель оценивает и в случае выявления непонимания делает замечание, уточняет действие номера расчета согласно методике из документации, что приводит к безопасному состоянию процесса по ветви 1. Однако в случае положительной оценки непонимания команды руководитель совершает ошибку 2-го рода. Затем номер расчета приступает к выполнению действий, которые оцениваются руководителем. В случае выявления неправильных действий руководитель может сделать замечание и уточнить действия номера расчета согласно документации, что переводит процесс ТО в безопасное состояние по ветви 1. В противном случае номер расчета оказывает нерегламентированное воздействие на потенциально опасную технику, что приводит к опасному состоянию процесса ТО.

Также номер расчета может выполнять ошибочное действие при условии правильно поданной команды и понимания ее выполнения, что приведет к потенциально опасному состоянию по ветви 4.

В этом случае руководитель оценивает выполняемое действие, и при выявлении ошибочного действия делает замечание номеру расчета и уточняет его действие согласно документации, что приводит к безопасному состоянию процесса по ветви 1. В противном случае, когда ошибочное действие не выявлено руководителем, совершена ошибка 2-го рода. В результате совершается нерегламентированное воздействие на потенциально опасную технику.

События, которые изменяют состояния безопасности имеют вероятностный характер, поэтому изменение состояний безопасности ТО представлено в виде направленного графа рисунок 3, где S_0 — безопасное состояние процесса ТО, S_1, S_2, S_3 — потенциально опасное состояние, S_4 — опасное состояние процесса ТО, P_{00} — вероятность события повторения операции, P_{01} — вероятность события неверной подачи команды руководителем, P_{10} — вероятность определения неверно поданной команды руководителем, P_{11} — вероятность не определения ошибочно поданной команды, P_{14} — вероятность совершения нерегламентированного воздействия на потенциально опасную технику при неправильно поданной ко-

манде руководителем, p_{02} — вероятность непонимания поданной команды номером расчета, p_{20} — вероятность верной оценки руководителем непонимания команды номером расчета, p_{22} — вероятность не определения руководителем непонимания номером расчета команды, p_{24} — вероятность совершения нерегламентированного воздействия на потенциально опасную технику при непонимании номером расчета команды руководителя,

p_{03} — вероятность начала выполнения ошибочного действия номером расчета, p_{30} — вероятность определения руководителем ошибочного действия номера расчета, p_{33} — вероятность неопределения руководителем выполнения ошибочного действия номера расчета, p_{34} — вероятность совершения нерегламентированного воздействия на потенциально опасную технику при ошибочном выполнении действия номером расчета.

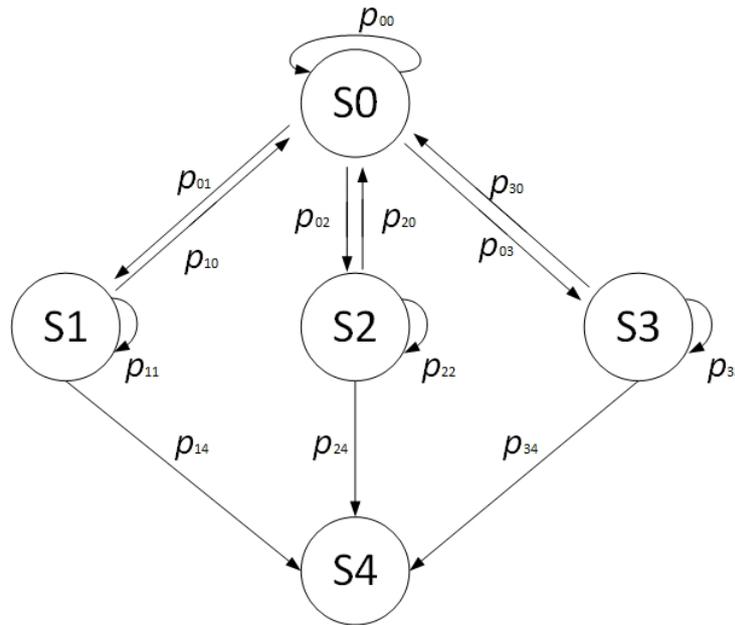


Рис. 3. Направленный граф состояний безопасности процесса ТО

Стоит отметить, что исходным является безопасное состояние процесса, следовательно $P_{S(0)}^{(0)} = 1$, $P_{S(1)}^{(0)} = P_{S(2)}^{(0)} = P_{S(3)}^{(0)} = P_{S(4)}^{(0)} = 0$. Вектор вероятностей состояний во времени описывается, как

$$P_{S(n)}^{(k)} = \langle P_{S(0)}^{(k)}, P_{S(1)}^{(k)}, P_{S(2)}^{(k)}, P_{S(3)}^{(k)}, P_{S(4)}^{(k)} \rangle,$$

где k — шаг времени изменения процесса.

Матрица переходных вероятностей составляется из вероятностей событий процесса в виде

$$P_{[5,5]} = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & P_{03} & 0 \\ P_{10} & P_{11} & 0 & 0 & P_{14} \\ P_{20} & 0 & P_{22} & 0 & P_{24} \\ P_{30} & 0 & 0 & P_{33} & P_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Таким образом, используя уравнение Колмогорова-Чепмена, которое описывает изменение во времени вероятностей состояний безопасности ТО по формуле

$$M[0] = \frac{(1-p_{11})(1-p_{22})(1-p_{33}) - p_{10}(1-p_{22})(1-p_{33}) + (1-p_{11})p_{20}(1-p_{33}) - (1-p_{11})(1-p_{22})p_{30}}{p_{10}p_{01}(1-p_{22})(1-p_{33}) + (1-p_{11})(1-p_{00})(1-p_{22})(1-p_{33}) - p_{03}(1-p_{22})p_{30} - p_{02}p_{20}(1-p_{33})}$$

Результаты расчета позволяют количественно оценить безопасность процесса ТО потенциально опасной техники.

$$P_{S(n)}^{(k)} = P_{S(n)}^{(0)} P_{[5,5]}^k = P_{S(n)}^{(k-1)} P_{[5,5]},$$

принимая количество шагов равное количеству операций при ТО, возможно рассчитать вероятности состояний безопасности процесса ТО в результате работы.

На основании матриц переходных вероятностей $P_{[5,5]}$ рассчитывается математическое ожидание числа шагов $M[0]$, затрачиваемое процессом для перехода из 0-го состояния процесса в поглощающее. Которое рассчитывается как сумма элементов первой строки матрицы

$$N_{[5-1,5-1]} = (I - Q_{[5-1,5-1]})^{-1},$$

где $Q_{[5-1,5-1]}$ — матрица переходных вероятностей, из которой исключены поглощающие состояния.

Для графа состояний безопасности процесса ТО математическое ожидание числа шагов $M[0]$, затрачиваемое процессом для перехода из 0-го состояния процесса в поглощающее, получена формула

Литература:

1. Информационный обмен в сетях передачи данных. Марковский подход: монография / В. А. Цимбал. — М.: Вузовская книга, 2014. — 144 с.: ил.
2. Александровская, Л. Н. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: Учебник / Л. Н. Александровская, И. З. Аронов, А. И. Елизоров и др.; Под ред. В. П. Соколова. — М.: Логос, 2001. — 232 с.: ил.
3. Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. — 2-е изд., стер. — М.: Наука, Гл. ред. физ. Мат. лит., 1988. — 208 с.

Исследование соединений деревянных конструкций в модульных зданиях

Трошчак Анастасия Александровна, студент магистратуры;
 Пепеляев Андрей Михайлович, студент магистратуры
 Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В данном исследовании особое внимание уделяется проблеме соединений, необходимых для обеспечения гибкого взаимодействия между деревянными элементами и конструкциями модульных зданий.

В исследовании будут рассмотрены различные типы соединений конструкций модульных быстровозводимых зданий, проведен анализ возведения модульных зданий, рассмотрены различные конструктивные схемы, а также комплексно изучены виды и способы соединения как отдельных элементов, так и полноценных блоков рассматриваемых зданий для дальнейшего исследования с помощью учебных пособий и научных статей. Для законодательного обоснования ряда вопросов были использованы нормативные документы по проектированию и оценке зданий и сооружений.

Ключевые слова: деревянные здания, модульные здания, гибридные соединения, каркасные системы, объемно-блочные системы

Research of joints wooden structures in modular buildings

Troshchak Anastasiya Aleksandrovna, student master's degree;
 Pepelyayev Andrey Mikhaylovich, student master's degree
 Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (St. Petersburg)

In this study, special attention is paid to the problem of connections necessary to ensure flexible interaction between wooden elements and structures of modular buildings.

The study will consider various types of connections of structures of modular prefabricated buildings, analyze the construction of modular buildings, consider various design schemes, as well as comprehensively study the types and methods of connecting both individual elements and full-fledged blocks of buildings under consideration for further research with the help of textbooks and scientific articles. Regulatory documents on the design and evaluation of buildings and structures were used for the legislative justification of several issues.

Keywords: wooden buildings, modular buildings, hybrid connections, frame systems, volumetric block systems

Модульное проектирование и строительство — это метод создания сооружения из модулей, изготавливаемых в контролируемой заводской среде, доставляемых на строительную площадку в виде блоков и возведения такого сооружения с увеличением скорости и эффективности.

Модульные блоки собираются на месте в контролируемых условиях с использованием материалов, изготавливаемых также на месте производства блока или заказываются у поставщика с указанием точных размеров. Соответствующие условия позволяют на протяжении всего процесса сборочной линии соблюдать требования и осуществлять контроль качества к конструкциям модулей и составляющим их элементам, а также позволяют сократить коли-

чество отходов на строительной площадке, включая шум. Сборка сооружения из 75–90 % заранее изготовленных конструкций и блоков, которые привозятся на строительную площадку готовыми к установке, также помогают значительно сократить время и объемы работ на месте.

Главным преимуществом модульных зданий является их мобильность, скорость развертывания, стойкость к сейсмическим нагрузкам. Использование и установка модульных зданий доступна в местах, где обычное строительство затруднено или невозможно. Недостатками у модульных зданий являются: возможность ухудшения теплоизолирующих и прочностных свойств через несколько десятков лет эксплуатации, нежелательность сооружения

быстровозводимые конструкции в регионах с повышенной влажностью, а также с очень низкими зимними температурами, сложность монтажа предполагает проведение работ только высокопрофессиональной бригадой.

Объемная модульная конструкция включает в себя сборку отдельных элементов за пределами площадки, которые объединяются в блоки, которые затем соединяются на месте, собирая в единое целое здание.

Модульные здания могут состоять из комбинации объемно-блочных и линейных компонентов, а элементы могут собираться как на заводе, так и в пределах строительной площадки в зависимости от конкретных требований проекта. При необходимости сборки комбинированных систем (например, модуль и элемент каркаса) крупногабаритные конструкции, которые проблематично транспортировать, могут быть собраны на месте.

В соответствии с конкретными условиями и требованиями проекта разрабатываются различными и модули, и типы стыковки отдельных элементов и соединения самих модулей между собой.

В исследовании рассматриваются варианты соединений на основании анализа отечественного и зарубежного опыта.

Когда речь идет о соединениях конструкций модульного здания относительно российских реалий и существующей нормативной документации чаще всего в основу узла ложатся соединения каркасных и объемно-модульных зданий. Чаще всего конструкции соединяются с использованием интегрированных закладных деталей в виде досок и брусков. Элементы таких стыков крепятся на деревянные дюбеля или анкеруют стальными стержнями, иногда используют стальные пластины на расчетном количестве дюбелей.

Обычно для выполнения требований к допускам между элементами в таких соединениях предусматривают монтажные зазоры, что характерно для соединений конструкций зданий каркасного типа. Зазоры используют для устройства изоляции и прокладки рассчитываемого количества утеплителя. При этом оставляя вентилируемые области для зон стыковки модулей между собой.

Соединение модулей между собой могут выполняться при помощи болтов и гаек, устанавливаемых в предусмотренных для этого местах конструкции модуля.

Установка модулей друг на друга может также производиться через распределительные стальные пластины, располагаемые по углам каждого модуля и в местах, максимально подвергаемым вертикальным деформациям. При

проектировании соединений необходимо учитывать деформации. Деформации приводят, например, к появлению щелевых отверстий в местах стыковки деревянных элементов и стальных деталей.

Такие соединения являются самыми распространенными и часто используемыми. На ряду с более распространенными соединениями разрабатываются и применяются так называемые «гибридные» стыки. Например, в Новой Зеландии в начале 1990-х годов были предложены и испытаны соединения с резьбовыми эпоксидными шпильками (стержнями), которые встраивались в места соединений конструкций блока. Результаты показали значительную пластичность соединений, достигнутую за счет текучести материалов. Аналогичная схема с добавлением последующего натяжения была разработана в Университете Кентербери, Крайстчерч, в середине 2000-х годов. Пластичность достигается главным образом за счет податливости внутренних или внешних закладных деталей из мягкой стали во время воздействия на соединения боковых нагрузок. Или, например, композитные модули из LVL-панелей на деревянных дюбелях, комбинированных с бетоном, представленные в Лондоне, в 2017 году.

Рассматривая различные модульные конструкции и их соединения, можно сделать вывод, что способы стыковки элементов и блоков хоть и разнообразны и практически проверены, но все еще имеют свои недостатки.

Необходимо брать во внимание и следующие условия:

- соединения должны быть рассчитаны на сейсмические воздействия,
- отсутствие трещиноватых соединений (соединители должны обладать достаточной гибкостью),
- отсутствие хрупкого разрушения во внутренних соединениях,
- остаточная пропускная способность в соединениях между модулями.

Общими недостатками соединений являются повышенная податливость и значительная ползучесть при длительном нагружении и осадке здания. Немалым недостатком может стать сквозняк холодного воздуха через щели в местах соединения при недостаточной изоляции стыка.

Выводы. В итоге, соединения, рассматриваемые в исследовании, требуют дальнейшего изучения и доработки, так как модульное строительство может стать важным элементом строительной отрасли России за счет восполняемости материала, экологичности и эффективности.

Литература:

1. Адам, Ф. М. Совершенствование технологии строительства модульных быстровозводимых малоэтажных зданий. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2001
2. Воротынцев, В. Конструкция норвежских каркасных домов. Часть 9. Стены. 2015
3. Баринов, А. М., Попов В. И. О некоторых аспектах разработки проектных решений быстровозводимых защитных сооружений для укрытия населения. Текст научной статьи по специальности «Строительство и архитектура».
4. Вержбовский, Г. Б. Полносборные малоэтажные здания из полимерных композитов и бетона: конструкция, расчет и технология возведения. Автореферат по ВАК РФ 05.23.01.

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Оценка эффективности работы сооружений для механической очистки и их реконструкция на примере города в Иркутской области

Варенко Любовь Сергеевна, студент магистратуры
Иркутский национальный исследовательский технический университет

В данной статье дана оценка эффективности работы сооружений для механической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод города и производственных сточных вод промышленного района нефтеперерабатывающего завода на примере города в Иркутской области.

Сформированы рекомендации по реконструкции данных сооружений, с учетом информационно-технологического справочника по наилучшим доступным технологиям ИТС 10–2019.

Дана оценка эффективности очистки сточных вод на сооружениях для механической очистки, выявлены несовершенства схемы и конструктивные недостатки существующих сооружений, предоставлено заключение по существующему положению.

Разработаны технологические решения с определением требуемого оборудования и сооружений для механической очистки с целью обеспечения качества очистки.

Ключевые слова: трубопроводы, водоотведение, механическая очистка, сточные воды.

Введение

Эффективность работы сооружений механической очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод всегда была актуальной.

Во-первых, от очистки сточной воды на механических сооружениях зависит последующая очистка сточных вод.

Во-вторых, при неэффективной очистке вводятся обязательные платы за сброс загрязняющих веществ сверх установленных лимитов, которые существенно снижают экономическую эффективность работы эксплуатирующих организаций.

В-третьих, самое главное, водоемам страны наносится ущерб, последствия которого непредсказуемы.

1. Состав сооружений механической очистки

Рассматриваемые сооружения для механической очистки предназначены для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод города и производственных сточных вод промышленного района нефтеперерабатывающего завода.

Сооружения механической очистки введены в эксплуатацию в 1962 году, состоят из:

- приемной камеры, здания решеток, и насосного отделения;
- горизонтальной аэрируемой песколовки (2 шт.);
- песковые площадки, с канализационной насосной станцией (КНС);
- радиальные первичные отстойники (4 шт.) Отстойники оборудованы илоскребами типа ИВР-20 на рельсовом ходу.
- насосная станция сырого осадка — предназначена для откачки сырого осадка из отстойников и всплывших веществ из жиросборников на иловые поля.

2. Описание технологической схемы

На узел механической очистки в приемную камеру поступают следующие потоки:

- производственные сточные воды промышленного района от насосной станции «Восток»;
- хозяйственно-бытовые сточные воды от насосной станции химического производства;
- хозяйственно-бытовые сточные воды от насосной станции полимерного производства.

Отбросы, задержанные на решетках при помощи механических граблей, сбрасываются на транспортер, расположенный на уровне пола. По транспортеру отбросы подаются на дробилку. Дробленая масса из дробилки водоструйным насосом по трубопроводу подается в лоток перед решетками.

После решеток, сточные воды через распределительный лоток поступают в песколовку, где распределяются по двум ее секциям.

Задержанный песок из песколовки периодически удаляется при помощи гидроэлеваторов. Выгрузка песколовки осуществляется на песковые площадки.

Вода на гидроэлеваторы подается насосами, расположенными в насосном отделении здания решеток.

Осветленные сточные воды из песколовки поступают в распределительную чашу первичных отстойников. Из чаши сточные воды через незатопленные водосливы со щитовыми затворами по стальным дюкерам подаются в центральную часть отстойников.

Осветленная вода из сборного лотка отстойников поступает в общий коллектор и далее по стальному трубопроводу в железобетонный лоток «Паршала», где замеряется общий расход воды после отстойников, затем — в камеру смешения.

Сырой осадок из первичных отстойников и плавающие вещества из жиросборников откачиваются насосами сырого осадка на иловые поля.

3. Расчет пропускной способности существующих сооружений

В разделе представлены расчеты пропускной способности сооружений механической очистки сточных вод с учетом фактических технологических параметров и эффективности работы сооружений. Расчет выполнен в соответствии с СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. Определение коэффициентов неравномерности притока сточных вод соответствии с [1, табл.1].

Сооружения механической очистки рассчитаны на фактический расход 32155,76 м³/сут, которому соответствует коэффициент неравномерности притока сточных вод $K_{gen} = 1,527$ [1].

Решетки

Ширина решеток — 1,150 м, рабочая ширина — 0,95 м. Количество граблин — 35 шт.

Ширина прозоров — 20 мм. Глубина лотка строительная — 1,5 м, гидравлическая глубина (высота наполнения каналов перед решетками) — 1,0 м (при работе двух решеток).

Угол наклона решеток — 60°. В эксплуатации находится 2 решетки, 1 — резервная.

Ширина одной граблины составляет:

$$B_{гр} = \frac{950 - 36 \cdot 20}{35} = 6,57 \text{ мм}$$

Ширина, через которую проходит поток сточных вод:

$$B = 950 - 6,57 \cdot 35 = 720,0 \text{ мм или } 0,72 \text{ м.}$$

Поверхность, через которую проходит поток сточных вод:

$$S = \frac{0,72 \cdot 1}{\sin 60^\circ} = 0,83 \text{ м}^2$$

Расчетная производительность одной решетки при скорости движения воды в прозорах 1 м/с [1]:

$$q = 0,83 \cdot 1 = 0,83 \text{ м}^3/\text{с} = 2988,0 \text{ м}^3/\text{ч} = 71712,0 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Коэффициент неравномерности равен 1,527.

Пропускная способность 2-х решеток:

$$Q = \frac{71712 \cdot 2}{1,527} = 93925,3 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Пропускная способность 3-х решеток — 140880,0 м³/сут.

Горизонтальные песколовки

Для задержания песка предусмотрены 2 горизонтальные песколовки с размерами 12×3,0 м. Гидравлическая глубина — 1,0 м. Площадь живого сечения составляет:

$$S = 3 \times 1 = 3,0 \text{ м}^2$$

При площади живого сечения лотка 3,0 м² и максимальной скорости движения сточных вод 0,3 м/с [1, табл.28], расчетный расход составит:

$$q = 0,3 \cdot 3,0 = 0,9 \text{ м}^3/\text{с} = 3 \text{ 240 м}^3/\text{ч.}$$

Пропускная способность одной песколовки составит:

$$Q = \frac{3240 \cdot 24}{1,527} = 50923,4 \text{ м}^3/\text{сут, двух } 101846,8 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

где: 1,527 — коэффициент неравномерности притока сточных вод.

В настоящее время для приема 32155,76 м³/сут сточных вод целесообразно эксплуатировать 1 песколовку. Расчетный расход при этом составит:

$$Q = \frac{32155,76}{24} \cdot 1,527 = 2045,9 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,57 \text{ м}^3/\text{с}$$

Скорость движения при этом составит:

$$v = \frac{0,57}{3 \cdot 1} = 0,19 \text{ м/с}$$

что входит в пределы допустимой скорости (0,15÷0,30 м/с) [1]. Однако следует учитывать, что песколовки, расчет которых проведен согласно [1], дает возможность удалить песок всего на 60 %.

Время пребывания воды в песколовке при максимальном расчетном расходе составляет:

$$t = \frac{L_s}{v_{max}} = \frac{12}{0,19} = 63,2 \text{ с}$$

что больше минимально допустимого времени пребывания [1].

Песковые площадки

При расходе сточных вод 32155,76 м³/сут и норме водоотведения 0,23 м³/(чел/сут) приведенное количество жителей составит:

$$n = \frac{32155,76}{0,23} = 107186 \text{ чел}$$

В соответствии с [1], при количестве жителей 107,2 тыс. чел. и удельной норме задерживаемого песка 0,02 л/чел/сут, суммарное количество песка, удаляемого песколовками, составит:

$$q = 0,02 \cdot \frac{107 \cdot 200}{1000} = 2,144 \text{ м}^3/\text{сут.} = 782,56 \text{ м}^3/\text{год}$$

При содержании песка в осадке 55–60 % [1], количество осадка составит:

$$Q = \frac{782,56}{0,575} = 1361,0 \text{ м}^3/\text{год или } 3,73 \text{ м}^3/\text{сут}$$

При содержании песка 55 % (фактические данные):

$$Q = \frac{782,56}{0,55} = 1422,84 \text{ м}^3/\text{год или } 3,90 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Влажность песка — 60 %. При плотности песка 400 кг/м³, масса песка составит:

$$M = 3,90 \cdot 400 = 1560 \text{ кг/сут}$$

Плотность осадка при его количестве 4,0 м³/сут по данным отчетности, составит:

$$P = \frac{1560}{4} = 390 \text{ кг/м}^3$$

Требуемая F_{нетто} песковых площадок при удельной нагрузке до 3 м³/(м²·год) [1]:

$$F_{\text{нетто}} = \frac{3,9 \cdot 365}{3} = 474,5 \text{ м}^2$$

Существующие две песковые площадки имеют площадь 280 м². Пропускная способность существующих песковых площадок составит:

— по пескопульпе:

$$280 \cdot 3 = 840 \text{ м}^3/\text{год} = 2,3 \text{ м}^3/\text{сут}$$

— по производительности очистных сооружений:

$$Q = \frac{0,3 \cdot 1000 \cdot 0,55 \cdot 3 \cdot 280}{0,02 \cdot 365} = 18986,3 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Первичные радиальные отстойники

Количество первичных отстойников Ду–20 м — 4 шт.

Гидравлическая крупность задерживаемых частиц, мм/с, определяется по формуле:

$$u_0 = \frac{1000 \cdot H_{\text{set}} \cdot K_{\text{set}}}{t_{\text{set}} \left(\frac{K_{\text{set}} \cdot H_{\text{set}}}{h_1} \right)^{n_2}}$$

Для отстойника диаметром 20,0 м при эффективности осаждения взвешенных частиц она составит:

$$\text{Э} = 30 \%: u_0 = \frac{1000 \cdot 2,8 \cdot 0,45}{875 \cdot \left(\frac{0,45 \cdot 2,8}{0,5} \right)^{0,25}} = 1,143 \text{ мм/с}$$

$$\text{Э} = 40 \%: u_0 = \frac{1000 \cdot 2,8 \cdot 0,45}{965 \cdot \left(\frac{0,45 \cdot 2,8}{0,5} \right)^{0,25}} = 1,036 \text{ мм/с}$$

$$\text{Э} = 50 \%: u_0 = \frac{1000 \cdot 2,8 \cdot 0,45}{1280 \cdot \left(\frac{0,45 \cdot 2,8}{0,5} \right)^{0,25}} = 0,781 \text{ мм/с}$$

где:

H_{set} — глубина проточной части в отстойнике — 2,8 м;

K_{set} — коэффициент использования объема, принимается 0,45 [1];

t_{set} — продолжительность отстаивания, соответствующая заданному эффекту очистки

30, 40 и 50 %, и полученная в лабораторном цилиндре в слое h₁ (0,5 м) — при количестве взвешенных веществ, поступающих в первичные отстойники 70,31 мг/дм³;

t_{set} = 875; 965; 1280 с, соответственно [1];

n₂ — показатель степени, зависящей от агломерации взвеси в процессе осаждения –0,25.

Расчетная производительность одного отстойника Ду-20 м, q_{set} (м³/ч), определяется по формуле:

$$q_{set} = 2,8 K_{set} (D_{set}^2 - d_{en}^2) (u_0 - n_{tb})$$

и при различной эффективности осветления сточных вод составит:

$$\Theta = 30 \% : q_{set} = 2,8 \cdot 0,45 (20,0 - 4,62) \cdot 1,143 = 606,5 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Theta = 40 \% : q_{set} = 2,8 \cdot 0,45 (20,0 - 4,62) \cdot 1,036 = 549,9 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Theta = 50 \% : q_{set} = 2,8 \cdot 0,45 (20,0 - 4,62) \cdot 0,781 = 414,6 \text{ м}^3/\text{ч};$$

где: D_{set} — диаметр отстойника — 20,0 м;

d_{en} — диаметр впускного устройства — 4,6 м;

n_{tb} — турбулентная составляющая, принимаемая по [1], в зависимости от скорости потока в отстойнике, n_w , мм/с;

при $n_w = 5$ мм/с, $n_{tb} = 0$ мм/с.

Суммарная пропускная способность 4-х отстойников при эффекте осветления 30, 40 и 50 % составит:

$$\Theta = 30 \% : Q = \frac{606,5 \cdot 24 \cdot 4}{1,527} = 38129,6 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$\Theta = 40 \% : Q = \frac{549,9 \cdot 24 \cdot 4}{1,527} = 34573,5 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$\Theta = 50 \% : Q = \frac{414,6 \cdot 24 \cdot 4}{1,527} = 26065,2 \text{ м}^3/\text{сут}$$

где: 1,527 — коэффициент неравномерности притока сточных вод.

4. Недостатки технологической схемы

Проектная производительность сооружений механической очистки составляет 16100 м³/сут, а количество сточных вод, поступающих на сооружения, превосходит проектную производительность в 2 раза — 32155,8 м³/сут.

Нормативные показатели в поступающих на сооружения механической очистки хозяйственно-бытовых сточных водах, по аналитическим превышены по следующим показателям: ХПК, аммонийному азоту, фенолам, фосфатам и нефтепродуктам.

5. Предложение для направления реконструкции

Расширение блока механической очистки в соответствии с расчетной производительностью. Реализация эффективной предварительной механической очистки с использованием барабанных или ступенчатых решеток и аэрируемых пескожировок.

Для снижения загрязняющих примесей на стадии предварительной механической очистки рекомендуется использование оборудования: тонкопрозрачные решетки и аэрируемые пескожировки с узлом химического осаждения фосфора.

При использовании данного оборудования ожидается снижение загрязняющих примесей: ХПК (20,25 %), БПК₅ (20 %), взвешенные вещества (20 %), ПАВ (20 %), металлы (5 %), растворенные соединения (до 5–10 %, за счет отдувки воздухом, адгезия на поверхности удаляемых частиц, окисление «возвратными потоками» — за счет ила, приносимым промывными водами), нефтепродукты (20 %), фосфаты (не менее 85 % при реагентном осаждении).

Для обеспечения очистки хозяйственно-бытовых сточных вод от крупных включений требуется установка мелкопрозрачных решеток.

Рекомендуемая толщина прозоров между прутьями — 3–6 мм. Дополнительно могут оборудоваться системой отжима отбросов до влажности 35 %.

При использовании таких решеток значительно повышается эффективность удаления отбросов всплывающие вещества, уловленные в первичных отстойниках, могут подаваться на механическое обезвоживание в смеси с другими осадками.

В рамках реконструкции предполагается произвести замену решеток на механические барабанные решетки с прозорами 3–6 мм.

Увеличение степени извлечения взвешенных веществ на ступени предварительной механической очистки также позволяет снизить нагрузку на все ступени технологической схемы обезвоживания осадка.

Решетки устанавливаются в канал или контейнер под углом 35° и представляет собой вращающуюся корзину, с перфорацией.

Рекомендуется использование современных высокоэффективных пескожировок.

Пескожировки — аэрируемые, с удалением плавающих веществ. Очистка сточных вод при помощи их является наиболее эффективным приемом удаления минеральных примесей из сточных вод. В них, наряду с высокой эффективностью осаждения песка, производится его отмывка от органических примесей.

Для удаления избыточного количества фосфатов предусмотреть узел химического удаления. В данной статье, в качестве примера, предложено использование коагулянта солей алюминия.

Метод удаления избыточного количества фосфора — прямое осаждение солями алюминия. Коагулянт — гидроксихлорид алюминия (ТУ 2163–069–00205067–2007), принят как химическое соединение с минимальным негативным влиянием на систему очистки.

Количество реагента, и требует точных расчетов, по показателям:

- соотношение фосфора фосфатов к общему фосфору в поступающих сточных водах (влияние минерализации органического фосфора);
- колебание концентрации алюминия и др. металлов, привносимых со сточными водами, который участвует в осаждении фосфора;
- при химическом осаждении фосфора реагентов не учитываются другие процессы, изменяющие степень осаждения фосфатов;
- количество фосфора, удаляемое из системы при росте микроорганизмов активного ила (в аэротенках) и на стадии доочистки, и удаляемое впоследствии из системы с обезвоженным осадком.

На количество реагента влияет неравномерность поступления и переменный состав сточных вод.

Окончательная доза реагента подлежит корректировке в процессе эксплуатации.

Для этого необходимо контролировать содержание соединений фосфора в поступающих и очищенных водах.

Заключение

В настоящее время качество очистки сточных вод на рассматриваемых очистных сооружениях не соответствует требованиям на сброс по ряду показателей. Основная причина этого заключается в том, что сооружения запроектированы и построены 30–60 лет назад по технологической схеме, соответствующей нормам того периода времени, и работают не в проектном режиме.

Расчеты показали, что при сохранении существующего набора очистных сооружений невозможно добиться значительного улучшения качества очистки сточных вод.

В результате проведенного обследования механических сооружений и технологических расчетов установлено, что существующим составом сооружений невозможно обеспечить очистку возрастающего количества поступающих сточных вод с обеспечением требуемого качества очистки.

Рекомендуется реконструкция. Реализация реконструкции позволит:

- увеличить количество очищаемых сточных вод с минимальным новым строительством;
- довести качество очистки до требований сброса в водоем рыбохозяйственного значения с незначительными эксплуатационными затратами;
- уменьшить количество образующихся осадков и сделать их безопасными в экологическом отношении.

Литература:

1. СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения». (с Изменением N 2).
2. «Водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 08.12.2020) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2021).
3. ИТС 10–2019 Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов.

Особенности территориального зонирования населенных пунктов Мангистауской области Республики Казахстан

Кадырхан Дастан Сакенулы, студент магистратуры
Казахский национальный университет имени аль-Фараби (г. Алматы)

Территориальное зонирование — это деятельность соответствующих органов в области планирования градостроительной деятельности и регулирования застройки территорий по комплексному регулированию создания, использования объектов недвижимости и использования земельных участков путем соответствующего зонирования территорий. Основной целью научной работы, наряду с теориями информационного обеспечения территориального зонирования земель населенных пунктов Мангистауской области, является изучение современного состояния земельных ресурсов, выявление

наиболее эффективных условий зонирования на территории области и выработка рекомендаций по организации мероприятий по защите территории Каспийского моря от загрязнения.

Ключевые слова: территориальное зонирование, землепользование, населенные пункты, планирование территории.

1. Понятие о территориальном зонировании населенных пунктов и функциональные районы

Одной из важнейших задач земельного законодательства является повышение эффективности зонирования земель как инструмента государственного управления земельными ресурсами населенных пунктов. Попытки решения проблем зонирования земель населенных пунктов только в рамках градостроительного законодательства выглядят менее перспективными.

Для эффективного и упорядоченного взаимодействия функциональных зон в них делят на подзоны. Они:

1. *жилая зона:*
 - малоэтажная жилая зона низкой плотности (плотность 25–50 чел/га);
 - зона малоэтажной жилой застройки (плотность 50–150 чел/га);
 - зона плотной и высокой плотности, средней и многоэтажной жилой застройки (плотность 150–450 чел/га);
 - рекреационная жилая зона.
2. *общественно-деловая зона:*
 - зона делового, общественного и коммерческого назначения;
 - зона многофункционального использования с высокой степенью озеленения и соблюдением экологического баланса на прилегающих территориях;
 - зона размещения объектов образования и здравоохранения.
3. *зона рекреационного назначения:*
 - зона курортных учреждений с нормативной плотностью (75–140 м² / чел.);
 - зона курортных учреждений низкой плотности (500 м² / чел.);
 - пляжная зона;
 - общественные пространства и зеленые насаждения общего пользования, в том числе объекты спортивного назначения и гольфполейская зона;
 - зона лесных территорий и лесопарков.
4. *зона производственной, инженерной и транспортной инфраструктуры:*
 - зона размещения производственных объектов, объектов агропромышленного комплекса и объектов коммунально-складского назначения;
 - зона объектов транспортной инфраструктуры;
 - зона размещения объектов придорожного сервиса и торговли;
 - зона логистических центров;
 - многофункциональная зона использования;
 - торговая зона.
5. *зона специального назначения:*
 - зона кладбища;
 - санитарно-защитная зона;

— иные зоны специального назначения.

2. Цели и стратегии территориального развития Мангистауской области

В последнее время в Казахстане резко возрос экономический рост и быстрый рост доходов на душу населения обусловлены, в основном, увеличением объемов экспорта нефти в сочетании с высокими ценами на нефть и металлы. Мангистауская область сыграла важную роль в увеличении экспорта нефти. Конечно, правительство Казахстана хочет сократить уязвимость страны в международных ценовых колебаниях. В целях повышения конкурентоспособности действующих предприятий в ближайшей перспективе акцент будет сделан на повышении эффективности производства и распределении. В среднесрочной перспективе диверсификация станет главным вопросом социально-экономического развития Казахстана, что затронет развитие новых видов индустрий, нефтяной и металлообрабатывающей индустрий, а также сопутствующих отраслей промышленности по обеспечению деталями и услугами для повышения внутренней добавленной стоимости.

В настоящее время Мангистауская область является уникальным ресурсным регионом в Казахстане, специализирующимся исключительно на нефтяных и газовых ресурсах. В результате доля топливно-энергетического вспомогательного сектора составляет 25,5 % от всего национального производства. Единственной другой подотраслью с долей, значительно превышающей долю населения, является энергетика на 6,2 % в зависимости от нефтегазодобычи. Доля других ресурсов, включая другие минеральные ресурсы и сельскохозяйственную продукцию, незначительна. Другие обрабатывающие отрасли и соответствующие экономические услуги трудно создать в краткосрочной и среднесрочной перспективе, за исключением таких отраслей, как ракушечник, овечьё и верблюжье молоко, шерсть и кожа, а также расширения отраслей, связанных с нефтегазовым сектором.

Региональное развитие Мангистауской области должно основываться на местных преимуществах области. Мангистауская область является природными воротами в Каспийский регион и далее на Запад, так как расположена в центре всего задуманного — Каспийского экономического региона. Таким образом, она может сыграть ключевую роль в интеграции Казахстана с глобальной экономикой.

3. Комплексная структура регионального развития Мангистауской области и усиление региональной территориальной структуры

Сначала была изучена действующая модель распределения сельских и городских поселений с использованием данных мониторинга села, опубликованных Мангистау-

ской областью. На основании результатов анализа поселения были распределены по баллам, как показано в таблице 1, а затем классифицированы по пяти категориям, как показано в таблице 2.

Все 57 населенных пунктов были классифицированы в 5 категорий в соответствии с функциональной иерархией: региональный центр, высшие региональные подцентры, вторичные центры, сельские центры обслуживания и другие населенные пункты.

Таблица 1. Критерии классификации существующих населенных пунктов

Категория	Кол-во населенных пунктов	Определение	Примечание
категория А	(1)	Областной центр	Актау
категория В	(9)	Кандидаты в высшие региональные подцентры	Жанаозен, Форт-Шевченко и 3 поселка городского типа. 38 и более баллов
категория С	(9)	Кандидаты во вторые центры	От 33 до 37 баллов
категория Д	(14)	Кандидаты в сельские сервисные центры	От 26 до 32 баллов
категория Е	(24)	Претенденты на обычные населенные пункты	Ниже 25 баллов

Таблица 2. Функции иерархической системы поселений по категориям

Категория	Наименование	Функции
I	Областной центр	<ul style="list-style-type: none"> — Международные и межрегиональные ворота в область; — Деловой центр для международных услуг; — Торговый центр для региональных и международных товаров; — Производственный центр экспорта и других товаров; — Главная больница областного значения; — Международно признанное высшее образование; — Культурный центр, представляющий область.
II	Верхние региональные вспомогательные центры	<ul style="list-style-type: none"> — На основе туризма с возможностью ночевки; — Государственные услуги специализированного назначения; — Образование в специализированных областях; — Оказание медицинских услуг на региональном уровне.
III	Вторичные центры	<ul style="list-style-type: none"> — Сельские производственные центры (животноводство, рыболовство и агропромышленность); — Возможность оказания скорой медицинской помощи; — Места туристского обслуживания.
IV	Кандидаты в сельские сервисные центры	<ul style="list-style-type: none"> — Финансовые услуги для сельского производства; — Основные социальные услуги.
V	Претенденты на обычные населенные пункты	<ul style="list-style-type: none"> — Общего образования; — Муниципальное здравоохранение; — Основные государственные услуги.

В заключение инициатива усиления региональной территориальной структуры состоит из проектов по инфраструктуре, совместно повышающих конкурентоспособность различных видов экономической деятельности путем сокращения расходов экономических трансакций. Особое внимание будет уделено созданию мультимодальной транспортной системы, включающей автомобильные, железнодорожные объекты и объекты терминалов, а также усилению наряду с основной стратегией городских функций и отобранных сельских сервисных центров. Это, в частности, будет стимулировать развитие логистической индустрии.

Инициатива развития индустриальных кластеров наряду с основной стратегией состоит из вспомогательных сопутствующих программ для пяти индустриальных кластеров. Развитие данных кластеров создаст наиболее эффективные возможности трудоустройства как первой (экономической) цели регионального развития Мангистауской области через диверсификацию региональной экономики. Это способствует уменьшению неравенства между городом и деревней для второй (социальной) цели, а также между различными сегментами общества.

Возможность реновации внешнего облика советских хрущевок

Лушникова Ксения Михайловна, студент;
Валуйская Надежда Владимировна, доцент
Воронежский государственный технический университет

Представлена история возникновения и распространения советских панельных типовых домов, используя пример города Воронежа, а также рассмотрены возможности реновации и реконструкции такого типа сооружений.

Ключевые слова: реновация, Воронеж, советские типовые дома, хрущевка.

В настоящее время в крупных городах России постепенно возрастает интерес к пятиэтажной жилой застройке советской эпохи. Данное внимание к «хрущевкам» обусловлено мнением многих архитекторов и экспертов, которые оценивают такое жилье как комфортное и функциональное для проживания, а также привлекательное своей недорогой ценой и пониженной этажностью в условиях «каменных джунглей» крупных городов. В условиях современности все больше архитекторов и дизайнеров привлекаются для работы над реновацией данных жилых объектов, и их задачей становится создание комфортного и эстетичного пространства, отвечающего потребностям современных жителей городов.

В 1930-е гг. в СССР существовала проблема нехватки отдельного жилья, и подавляющая часть населения проживала в некомфортных коммунальных квартирах. В период с конца 1940-х по начало 1950-х гг. в СССР наиболее остро встал вопрос о необходимости активной застройки городов. Причиной тому стала послевоенная ситуация, которая проявлялась в тяжелом социальном положении граждан. Населенные пункты, на территории которых разворачивались военные действия, зачастую имели высокую степень разрушения. Так, жилой фонд города Воронежа понес потери в 95 % [1]. В условиях нехватки средств требовалось как можно скорее обеспечить граждан жи-

лем, и ответом на данную проблему стало постановление «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве» [2]. Данное постановление обозначило завершение архитектурной эпохи «сталинского ампира» и привело к установлению функционализма в архитектуре. Новое направление подразумевало избавление от «излишеств», несущих в себе исключительно эстетическое значение, сосредоточение на функции сооружения, приведение облика зданий к единству, характеризующемуся простотой линий и форм. Архитектурные украшения были провозглашены «распушенностью», и красота отныне должна была проявляться в точности строительных деталей [3].

Для создания нового вектора архитектурного развития СССР были привлечены инженеры и архитекторы. Во время работы над проектом жилых построек был изучен опыт западных коллег, в особенности были рассмотрены голландские, французские и германские проекты. Особый интерес был проявлен к трудам Эрнста Мая, имевшего большой опыт в создании недорогих социальных поселков для работников заводов (рис. 1). Главными чертами немецкого социального жилья стали экономичность, рациональность, простота и высокая скорость возведения, стандартизованность [4]. Такими чертами, впоследствии, стали обладать и новые советские микрорайоны.



Рис. 1. Э. Май и др. Застройка поселка Вестхаузен (Siedlung Westhausen). Франкфурт-на-Майне, Германия. 1929–1931. (Источник: Ernst May und das Neue Frankfurt. 1925–1930. Berlin, 1986. S. 116)

Новое социальное советское жилье стало возводиться повсеместно, используя способ бескаркасного панельного строительства, то есть по принципу конструктора,

собираясь из отдельных строительных деталей, поставленных на поточное производство. Первые типовые серии домов были пятиэтажными и имели максимально

простую форму, отличаясь между собой лишь цветовым решением. Количество этажей обосновывается экономичностью строительства, так как при пяти этажах допустимо отсутствие лифта, что помогало сэкономить до 15 % средств на строительство сооружения [5]. Стоит отметить также, что колористическое решение зданий состояло из нескольких утвержденных цветов, из-за чего среда, создаваемая постройками, обладала такими качествами, как монотонность и безликость. Такая среда влияет на психологическое состояние человека, вызывая отчужденность и депрессивные переживания [6].

Жилой фонд в современной России во многих городах представлен из большого процента построек советской

эпохи. Так, в городе Воронеж пик строительства многоквартирных домов пришелся на 1950–1969 гг., обеспечив население 2250 жилыми домами [7]. Именно в этот период в Воронеже возводились типовые многоквартирные советские дома, и, анализируя временной отрезок с 1900-го года по 2022 год, значение таких сооружений составляет 43 % от общего количества возведенных многоквартирных домов. Абсолютное большинство таких зданий и в наше время составляют жилой фонд Воронежа, преодолев указанные при строительстве 50 лет эксплуатации, а также в большей степени сохранив изначальный внешний вид фасадов в конструктиве и цветовом решении (рис. 2).



Рис. 2. Дом в г. Воронеж на ул. Менделеева, постройка 1959 года

Особенностью строительства «хрущевок» в Воронеже стало появление кирпичных типовых домов, а уже позднее — панельных. Такое явление объясняется нехваткой продукции заводов ЖБИ [8]. Кирпичные здания обладают большей тепло- и шумоизоляцией, способны поддерживать внутри помещений свой микроклимат, медленнее охлаждаясь и нагреваясь при смене сезонов года, а также кирпич обладает свойством впитывать и отдавать воду, что препятствует образованию сырости. Таким образом, сохранившиеся кирпичные «хрущевки» обладают рядом преимуществ для комфортной жизни, отличаясь при этом невысокой ценой. Среди недостатков внешнего облика такой застройки стоит отметить изношенность и низкую эстетическую ценность фасадов, проявляющуюся в сохранившейся при возведении колористической монотонности.

В наше время все чаще возникает вопрос о дальнейшей судьбе воронежских «хрущевок», и существует два мнения: снести устаревшее жилье или провести реновацию. В ходе анализа количественного значения советских многоквартирных домов становится очевидно, что снос большей части жилого фонда города не может быть выходом из сложившейся ситуации [7]. В Воронеже было издано постановление правительства Воронежской области от 10.10.2013 № 884 «О создании фонда, осуществляющего деятельность, направленную на обеспечение

проведения капитального ремонта общего имущества в многоквартирных домах» [9], благодаря которому производится ремонт в том числе и советских домов. Недостатком программы в реновации фасадов является отсутствие комплексного решения для улиц, так как в ходе реализации проекта выбираются отдельные здания, игнорируя внешний облик соседних сооружений. Также следует отметить, что в ходе выполнения постановления происходит именно ремонт, а не реновация, поэтому во внешнем облике домов меняется лишь цвет, зачастую соответствующий ранее существующему на ремонтируемом фасаде, что сохраняет изначальную монотонность, депрессивность и безликость колористического решения «хрущевок» (рис. 3, 4).

Примером удачной реновации советского типового панельного жилья является опыт архитекторов из Германии. В бывшей ГДР также возводились такого типа сооружения, оказавшиеся в современных реалиях устаревшими для немецких граждан. Выходом стал проект архитектора Штефана Форстера, подразумевающий трансформацию существующих зданий. Реализация проекта проходила в небольших городах Германии — Лайнефельде и Галле. В ходе работы над проектом были переосмыслены объемы, формирующие здания, а именно — снесены некоторые этажи, объединены балконы и созданы новые пространства на крышах. Сохранение этажей не имело смысла, так



Рис. 3. «Хрущевка» в г. Воронеж до ремонта (Источник: Яндекс Карты)



Рис. 4. «Хрущевка» в г. Воронеж после ремонта (Источник: <https://fkr36.ru/fotootchet-o-hode-kapitalnogo-remonta-mnogokvartirnyh-domov-v-g-voronezhe>)

как отсутствовал лифт, и понижение уровня обеспечило больший комфорт в передвижении, а пристройка лифта могла бы удорожить имеющееся жилье [10]. Большое внимание уделялось озеленению зданий — создавались террасы, на которых располагались различные растения, что

также украшало дома. Колористическое решение домов сочетает в себе спокойные и очень яркие цвета, вместе создавая гармоничное сочетание, комфортное для восприятия (рис. 5, 6).



Рис. 5. Дом после реновации в Лайнефельде (Источник: <https://archi.ru/russia/6176/shtefan-forster-znatok-pyatietazhek>)

Результатом работы архитектора Штефана Форстера стали новые эстетически привлекательные микрорайоны, отвечающие современным критериям комфортной жизни, сохранившие низкую стоимость, а также привлечшие

новых жильцов. Важным в реализации проекта стал отказ от лишних этажей, что позволило совершенно иначе взглянуть на привычные «хрущевки».



Рис. 6. Дом после реновации в Лайнефельде (Источник: <https://realty.rbc.ru/news/5cfd46c9a79474903510684>)

Заключение

Проекты по реновации советских многоквартирных домов эпохи функционализма являются единичными, но вызывают все больше интереса. Создание комфортного, современного, а также недорогого жилья из уже существующего жилого фонда имеет гораздо больший смысл,

чем полный снос большей части домов города. Для реализации подобного рода проектов необходим комплексный подход, а также грамотный архитектор, способный спроектировать новый облик зданий, который будет вписываться в имеющуюся застройку, а также будет подходить жителям города.

Литература:

1. Год за сто: Вся правда о потерях Воронежа в войне с фашистами. — Текст: электронный // АиФ Черноземье: [сайт]. — URL: https://chr.aif.ru/voronezh/events/god_za_sto_vsya_pravda_o_poteryah_voronezha_v_voynе_s_fashistami (дата обращения: 10.03.2022).
2. Хмельницкий, Д. Конец стиля: К пятидесятилетию гибели сталинской архитектуры // «Проект Классика»: Журнал. — 2005. — 27 марта.
3. Л. Руднев. О формализме и классике // «Архитектура СССР». 1954. № 11. с. 31.
4. Меерович, М. Г. Эрнст Май — «Рациональное» жилье для России // Архитектон: История вузов. 2011. № 36. с. 14.
5. Корниенко, В. Д., Чикота С. И. Этапы развития многоквартирных жилых домов для массовой застройки городов России // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2014. Т.2. № 1. с. 19–23.
6. Мозжухин, А. Страх и ненависть спальных районов / А. Мозжухин. — Текст: электронный // Lenta.ru: [сайт]. — URL: https://lenta.ru/articles/2016/05/20/sleep_district/ (дата обращения: 10.03.2022).
7. Текст: электронный // Дом.МИНЖКХ: [сайт]. — URL: <https://dom.mingkh.ru/voronezhskaya-oblast/voronezh/> (дата обращения: 11.03.2022).
8. Снегова, Д. Два хозяина в одном доме. Как менялась многоквартирная застройка Воронежа / Д. Снегова. — Текст: электронный // РИА Воронеж: [сайт]. — URL: <https://riavrnr.ru/news/dva-hozyaina-v-odnom-domu-kak-menyalas-mnogokvartirnaya-zastrojka-voronezha/> (дата обращения: 11.03.2022).
9. Постановление правительства Воронежской области от 10.10.2013 № 884. — Текст: электронный // Воронежская область Официальное опубликовывание нормативных правовых актов: [сайт]. — URL: <https://pravo.govvrn.ru/content/postanovlenie-pravitelstva-voronezhskoy-oblasti-ot-10102013-n-884> (дата обращения: 11.03.2022).
10. Коряковская, Н. Штефан Форстер — знаток пятиэтажек / Н. Коряковская. — Текст: электронный // Archi.ru: [сайт]. — URL: <https://archi.ru/russia/6176/shtefan-forster-znatok-pyatietazhek> (дата обращения: 11.03.2022).

Исследование влияния длины сцепления ФАП с бетоном на несущую способность железобетонных изгибаемых элементов, усиленных внешним армированием на примере железобетонной балки

Михеев Владимир Витальевич, студент
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Одной из важнейших задач на сегодняшний день является увеличение прочностных характеристик конструкций. Довольно популярным и распространенным материалом для строительства можно назвать бетон. Но данный строительный материал и его прочностные характеристики напрямую зависят от его сырьевого состава, способа замешивания и прочих факторов, которые возникают на этапе замешивания и укладке бетонной смеси. Многие ученые со всего мира искали и ищут решения задачи подбора такой смеси, которая сможет обладать наилучшими свойствами и может использоваться в ответственных конструкциях, или способа усиления ответственных железобетонных конструкций.

Говоря об усилении конструктивных элементов, то на данном этапе применяется усиление композитной арматурой (ФАП), которая увеличивает прочностные характеристики конструкции.

ФАП арматура — это композитный материал на основе углеродных, арамидных, стеклянных и базальтовых волокон в виде холстов, ламелей, стержней.

Ключевые слова: ФАП, бетон, композиционный материал, конструкция.

Investigation of the influence of the adhesion length of FRP with concrete on the bearing capacity of reinforced concrete bending elements reinforced with external reinforcement on the example of a reinforced concrete beam

One of the most important tasks today is to increase the strength characteristics of structures. A fairly popular and common material for construction can be called concrete. But this building material and its strength characteristics directly depend on its raw material composition, the method of mixing and other factors that arise at the stage of mixing and laying the concrete mixture. Many scientists from all over the world have been looking for solutions to the problem of selecting a mixture that can have the best properties and could be used in critical structures, or a way to strengthen critical reinforced concrete structures.

Speaking about the reinforcement of structural elements, at this stage, reinforcement with composite reinforcement (FAP) is used, which increases the strength characteristics of the structure.

FAP reinforcement is a composite material based on carbon, aramid, glass and basalt fibers in the form of canvases, lamellas, rods.

Keywords: FAP, concrete, composite material, construction.

В настоящее время в связи с техническим перевооружением множества предприятий промышленного комплекса и зданий гражданского назначения необходимо усиление элементов конструкций.

Для нахождения механических характеристик арматуры опытных образцов были изготовлены и испытаны на растяжение образцы стержней арматуры. Испытания образцов были проведены в соответствии с требованиями по [1].

С целью этого исследования отобрали 5 стержней с рабочей длиной 200мм, на которые делительной машиной наносятся метки через каждые 10мм.

Испытания проводились в разрывной гидравлической машине WEW-500 с максимальной нагрузкой 500кН (50тс).

В ходе эксперимента были определены некоторые характеристики стали: относительное удлинение, предел те-

кучести, временное сопротивление и модуль упругости. Общий вид испытания арматурных стержней показан на рисунке 1.

Механические характеристики арматурной стали в таблице 1

Для испытаний возьмем образцы железобетонных балок серии: Б1, Б2. В Б1 вошли балки Б1.1, Б1.2.

Б2 в свою очередь содержал балки Б2.1, Б2.2. Данные балочные элементы были усилены внешним композитным армированием на основе углеродных волокон, приклеенной к нижней грани шириной 90мм.

На балке Б2.2 были выполнены торцевые хомуты шириной 120мм из такого же композитного материала. Балка Б2.1-без хомутов. Образцы серии Б.2 до испытаний представлен на рисунке 3.

Балки нагружаются кратковременной нагрузкой до разрушения.



Рис. 1. Общий вид испытаний арматурной стали

Таблица 1. Механические характеристики арматурной стали

Диаметр арматуры	Площадь поперечного сечения, см ²	$\sigma_{тr}$, МПа	σ_{B} , МПа	E_s , МПа	δ , %
d8 A400	0.503	382	628	1.9610^5	12.5
d6 A400	0.283	370	670	1.9310^5	12.57

Таблица 2. Состав бетонной смеси

Класс бетона по прочности на сжатие	Расход материалов на 1м ³ бетона, кг				В/Ц
	Цемент	Щебень	Песок	Вода	
B20	320	1040	860	165	0.51

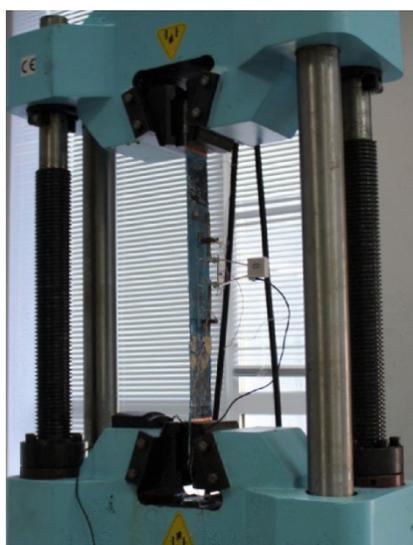


Рис. 2. Общий вид проведения испытаний композитного материала



Рис. 3** Образцы Б-2-1 (на переднем плане) и Б-2-2 (на заднем плане) до испытаний

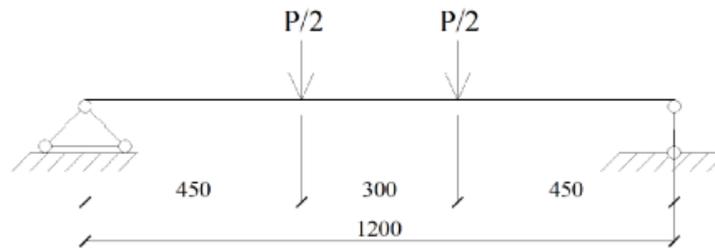


Рис. 4. Расчетная схема при испытании образцов

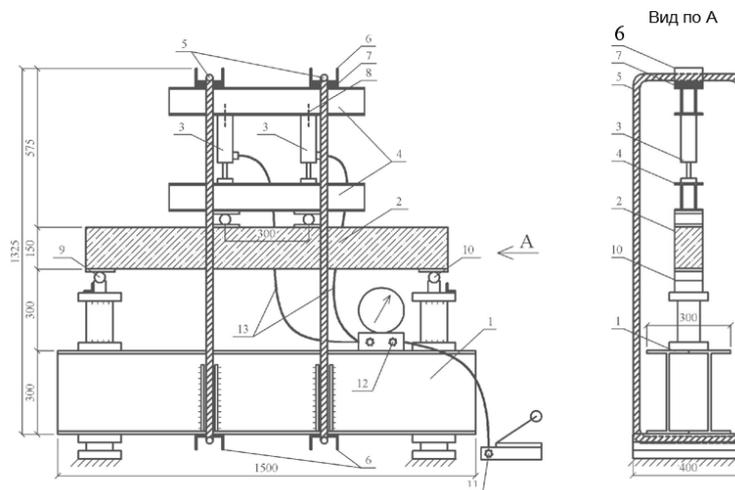


Рис. 5. Испытательный стенд для нагружения образцов:

- 1 — основная траверса, 2 — опытный образец, 3 — гидравлический домкрат, 4 — распределительная траверса,
- 5 — тяжи из арматуры d25 А400, 6 — опорная траверса, 7 — пакет пластин, 8 — установочный винт,
- 9 — шарнирно-неподвижная опора, 10 — шарнирно-подвижная опора, 11 — насосная станция, 12 — манометр,
- 13 — шланг

Методом загрузки стало нагружение с помощью гидравлических домкратов, т.к. данная методика даёт возможность с более высокой точностью определять прикладываемую нагрузку.

В момент испытания в лаборатории температура воздуха составляла 22°С, влажность — 60...65 %. Величина нагружения мониторилась по показаниям манометра, а затем пересчитывалось по тарировочной таблице. Тарировочная таблица была разработана совместно с испы-

тательным стендом путем сопоставления показаний манометра и прогиба контрольной металлической балки прокатного профиля.

Результаты экспериментальных исследований композитных материалов на отрыв от поверхности бетона указаны в таблице 3.

Результаты испытаний железобетонных балок, доведенных до разрушения представлены в таблице 4.

Таблица 3. Значения предельных нагрузок при испытании образцов на прочность при отрыве от поверхности бетона

Маркировка образца	Предельная внешняя нагрузка на образец Р _{гр} , кН	Предельное усилие растяжения в композитном элементе Т _{гр} , кН	Характер разрушения
ОК-1-1	10.50	21.00	Отрыв бетона вблизи склеиваемой поверхности до нижней арматуры при отсутствии разрушения композитного элемента и его отслоения
ОК-1-2	10.66	21.32	
ОК-2-1	21.58	31.11	
ОК-2-2	22.26	32.05	

Таблица 4. Результаты испытаний образцов на прочность

Серия испытаний	Маркировка образца	M _{разр.} , кНм	M ^f _{разр.} , кНм	M ^f _{разр.}	Характер разрушения
				M _{разр.}	
Б-1	Б-1-1	7.12	-	-	По нормальным сечениям в зоне чистого изгиба
	Б-1-2	7.19	-	-	
Б-2	Б-2-1	-	10.02	140 %	Отслоение композита с разрушением защитного слоя бетона
	Б-2-2	-	11.63	163 %	Разрыв композита в приопорной зоне, раздробление бетона сжатой зоны

Литература:

- ГОСТ 10180–2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. — М.: Стандартинформ, 2013. — 30 с.
- ГОСТ 25.601–80 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей. Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах /,-М.: Стандартинформ, — 2005. — 15 с.
- Есипов, С. М. Влияние скорости и режима нагружения на прочность и жесткость армированных углепластиков / С. М. Есипов, С. И. Меркулов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова.-2017.-№ Г-С. 52–56.

Важность учета нелинейных свойств материалов составного сечения сталежелезобетонных конструкций

Суходолов Михаил Валерьевич, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье рассматривается сравнение аналитического и численного методов расчета сталежелезобетонного перекрытия для обоснования важности учета пространственной работы элементов перекрытия и их нелинейных свойств.

Ключевые слова: сталежелезобетон, совместная работа, нелинейность, составное сечение, приведенное сечение.

Введение

Из-за стремления строительных организаций к сокращению финансовых затрат на строительство, материалоёмкости и трудоемкости появляется необходи-

мость в улучшении качеств строительных материалов. Одним из ярких примеров такого улучшения является использование совместной работы стали и железобетона.

Несмотря на наличие богатой нормативной базы по расчету и проектированию сталежелезобетонных конструкций, существует необходимость в обосновании значимости нелинейности при расчете таких конструкций. Методика расчета [1]–[4] не позволяет в полной мере определить величину прогибов и в целом напряженно-деформационное состояние конструкции. Данный метод расчета можно учесть в численном расчете, используя различные программные комплексы.

Опыт использования сталежелезобетонных конструкций показывает развитие прогибов и перемещение в течение определенного времени. В некоторых случаях такие деформации приводят к разрушению конструкции. Поэтому при проектировании и расчете сталежелезобетонных конструкций необходимо учитывать нелинейные свойства железобетона.

Целью настоящих исследований является обоснование важности в той или иной степени учета нелинейных характеристик материалов при расчетах на прочность сталежелезобетонных конструкций зданий и сооружений.

Основная часть

1. Расчет сталежелезобетонного перекрытия

Расчет сталежелезобетонного перекрытия сводится к расчету составного сечения сталежелезобетонной балки и производится по двум стадиям: возведения и эксплуатации.

1.1. Аналитический расчет сталежелезобетонной балки составного сечения на стадии возведения

На стадии возведения конструкции (бетонировании) стальная балка является несущей конструкцией, работающей на поперечный изгиб. До набора прочности бетона в 50 % стальные балки необходимо рассчитывать на прочность и жесткость как стальной элемент в соответствии с СП 16.13330.2017 [1].

В случае с технологией комбинированной сталежелезобетонной конструкции на стальную балку будет давить лишь часть веса бетонной смеси и собственный вес балки [4]. В рамках статьи возьмем $\frac{1}{4}$ от веса бетонной смеси, который давит на конструкцию опалубки и стальной балки в целом. Также необходимо учитывать, что во время возведения конструкции по балкам могут ходить рабочие, следовательно, необходимо задать полезную нагрузку. Собственный вес балки условно примем равным $0,01 \text{ кН/м}^2$, что соответствует прокатному двутавру № 20Б3.

Принимаем условно балочную клетку с шагом стальных балок равным 1 м и длиной пролета 6 м.

Таким образом задаемся нагрузками, действующими на стальную двутавровую балку (таблица 1).

Таблица 1. Сбор нагрузок на стальную балку

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативная нагрузка $q^n, \text{кН/м}^2$	γ_f	Расчетная нагрузка $q^p, \text{кН/м}^2$
Постоянная				
1	Собственный вес стальной балки	0,01	1,05	0,011
2	Вес бетонной смеси ($\delta = 10 \text{ см}$)	0,63	1,2	0,76
Итого		$q_n^H = 0,64 \text{ кН/м}^2$		$q_n^P = 0,771 \text{ кН/м}^2$
Временная				
3	Полезная нагрузка	1,5	1,3	1,95
Итого		$q_e^H = 1,5 \text{ кН/м}^2$		$q_e^P = 1,95 \text{ кН/м}^2$
Всего		$q^n = 2,14 \text{ кН/м}^2$		$q^p = 2,721 \text{ кН/м}^2$

Определяем интенсивность нормативной и расчетной равномерно распределенных нагрузок, действующих на балку (1.2, 1.3 соответственно):

$$q^H = q^n \cdot a = 2,14 \cdot 1,0 = 2,14 \text{ кН/м} \quad (0.1)$$

$$q^P = q^p \cdot a = 2,721 \cdot 1,0 = 2,721 \text{ кН/м} \quad (0.2)$$

Расчетный изгибающий момент и расчетная поперечная сила в стальной балке равны (1.4, 1.5 соответственно):

$$M_{\max} = \frac{q^P \cdot l^2}{8} = \frac{2,721 \cdot 6,0^2}{8} = 12,24 \text{ кНм} \quad (0.3)$$

$$Q_{\max} = \frac{q^P \cdot l}{2} = \frac{2,721 \cdot 6,0}{2} = 8,16 \text{ кН} \quad (0.4)$$

Требуемый момент сопротивления поперечного сечения стальной балки при упругой работе определяется из условия (1.6) [1] п.8.2.1:

$$\frac{M_{\max}}{W_{n,\min} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1 \tag{0.5}$$

Для заданных условий за материал балки настила принимаем сталь С235, расчетное сопротивление $R_y = 235 \text{ МПа}$.

Рассчитываем требуемый момент инерции по формуле (2.7):

$$W_{n,\min} = \frac{12,24 \cdot 10^2}{23,5 \cdot 1,1} = 47,35 \text{ см}^3 \tag{0.6}$$

По расчетам принимаем стальную балку двутаврового сечения № 20Б1.

Проверка по нормальным и касательным напряжениям выполняется из условий (1.8, 1.10 соответственно):

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq R_y \cdot \gamma_c, \tag{0.7}$$

$$\sigma = \frac{12,24 \cdot 10^2}{184,4} = 6,64 \text{ кН/см}^2 \leq 23,5 \cdot 1,1 = 25,85 \text{ кН/см}^2, \tag{0.8}$$

$$\tau = \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{J_x \cdot s} \leq R_s \cdot \gamma_c = 0,58 \cdot R_s \cdot \gamma_c, \tag{0.9}$$

$$\tau = \frac{8,16 \cdot 104,73}{1844,26 \cdot 0,55} = 0,84 \text{ кН/см}^2 \leq 0,58 \cdot 23,5 \cdot 1,1 = 14,99 \cdot \text{кН/см}^2. \tag{0.10}$$

Проверка выполнена и по нормальным напряжениям, и по касательным.

Проверка жесткости (прогиба) стальной балки двутаврового сечения выполняется по формуле (1.12):

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^H \cdot l^4}{E \cdot J_x}, \tag{0.11}$$

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{б.н}'' \cdot l^4}{E \cdot J_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,14 \cdot 10^{-2} \cdot 600^4}{2,1 \cdot 10^4 \cdot 1844,26} = 0,93 \text{ см}. \tag{0.12}$$

При проверке на прогибы стальной балки должно выполняться условие (1.14):

$$\frac{f}{l} < \frac{1}{250}, \tag{0.13}$$

$$\frac{0,93}{600} = 0,002 < 0,004. \tag{0.14}$$

Проверка по прогибам стальной балки проходит, следовательно, окончательно принимаем стальную балку двутаврового сечения № 20Б1.

1.2. Аналитический расчет сталежелезобетонной балки составного сечения на стадии эксплуатации

На стадии эксплуатации плита рассчитывается как железобетонная конструкция с внешней рабочей арматурой из стального профилированного настила и с гибкой стержневой арматурой [4].

Для расчета изгибающего момента от внешней нагрузки и поперечной силы собираем нагрузки на монолитную плиту (таблица 2).

Таблица 2. Сбор нагрузок на монолитную плиту

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативная нагрузка $q^n, \text{кН} / \text{м}^2$	γ_f	Расчетная нагрузка $q^p, \text{кН} / \text{м}^2$
Постоянная				
1	Собственный вес плиты ($\delta=10\text{см}$)	2,5	1,2	3
2	Цементно-песчаная стяжка ($\delta=1,5\text{см}$)	0,3	1,3	0,39

3	Паркет	0,1	1,1	0,11
4	Подвесной потолок	0,12	1,1	0,132
Итого		$q_n^H = 3,02 \text{ кН} / \text{м}^2$		$q_n^P = 3,632 \text{ кН} / \text{м}^2$
Временная				
5	Перегородки	0,5	1,3	0,65
6	Полезная нагрузка	1,5	1,3	1,95
Итого		$q_6^H = 2 \text{ кН} / \text{м}^2$		$q_6^P = 2,6 \text{ кН} / \text{м}^2$
Всего		$q^n = 5,02 \text{ кН} / \text{м}^2$		$q^p = 6,232 \text{ кН} / \text{м}^2$

Интенсивность нормативной и расчетной равномерно распределенных нагрузок вычисляем по формулам (1.2, 1.3 соответственно):

$$q^H = 5,02 \cdot 1,0 = 5,02 \text{ кН} / \text{м}; \quad (0.15)$$

$$q^P = 6,232 \cdot 1,0 = 6,232 \text{ кН} / \text{м}. \quad (0.16)$$

Приведенная площадь железобетонной плиты к металлу будет равна (1.18):

$$A_{pl,red} = b \cdot h \cdot \frac{1}{a_b} = 100 \cdot 10 \cdot \frac{1}{18,3} = 54,65 \text{ см}^2, \quad (0.17)$$

где: коэффициент приведения равен a_b (1.19):

$$a_b = \frac{E_s}{E_{b1}} = \frac{2,0 \cdot 10^6}{109286} = 18,3 \text{ кгс} / \text{см}^2. \quad (0.18)$$

Приведенная площадь сечения равна (1.20):

$$A_{red} = F_n + A_{pl,red} = 27,16 + 54,65 = 81,8 \text{ см}^2 \quad (0.19)$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до нижней грани (1.21):

$$y_{цт} = \frac{S_{x,red}}{A_{red}} = \frac{1637,85}{81,8} = 20,02 \text{ см}, \quad (0.20)$$

где:

– статический момент площади приведенного сечения относительно нижней грани:

$$S_{x,red} = S_{x,b} + S_{x,p} = 271,6 + 1366,25 = 1637,85 \text{ см}^3; \quad (0.21)$$

– статический момент площади стальной балки относительно нижней грани составного сечения:

$$S_{x,b} = F_n \cdot \frac{h_b}{2} = 27,16 \cdot \frac{20,0}{2} = 271,6 \text{ см}^3; \quad (0.22)$$

– статический момент железобетонной плиты относительно нижней грани составного сечения:

$$S_{x,p} = A_{pl,red} \cdot (h_b + \frac{h_p}{2}) = 54,65 \cdot (20,0 + \frac{10}{2}) = 1366,25 \text{ см}^3. \quad (0.23)$$

Момент инерции приведенного сечения относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести (1.25):

$$I_{red} = \frac{I_{pl}}{a_b} + \frac{A_s \cdot z_{pl}^2}{a_b} + I_b + F_n \cdot z_b^2; \quad (0.24)$$

$$I_{red} = \frac{100 \cdot 10^3}{12 \cdot 18,3} + \frac{100 \cdot 10 \cdot 4,98^2}{18,3} + 1844,26 + 27,16 \cdot 10,02^2 = 6,381,7 \text{ см}^4, \quad (0.25)$$

Расчетный изгибающий момент в сталежелезобетонной балке равен (1.27):

$$M^p = \frac{(q^p \cdot b_b + q_b \cdot 1,05) \cdot l^2}{8} = \frac{(6,232 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1,05) \cdot 6,0^2}{8} = 28,09 \text{ кНм}. \quad (0.26)$$

Момент сопротивления приведенного сечения по нижней зоне равен (1.28):

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_{цт}} = \frac{6381,7}{20,02} = 318,8 \text{ см}^3. \quad (0.27)$$

Проверка прочности по условию (1.6):

$$\frac{M^P}{W_{red} \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{28,09 \cdot 10^2}{318,8 \cdot 23,5 \cdot 1,1} = 0,341 < 1. \quad (0.28)$$

Производим проверку приведенного сечения сталежелезобетонной балки с учетом совместной работы стали и бетона по прогибам по формуле (1.30):

$$\frac{5}{384} \cdot \frac{5,02 \cdot 10^{-2} \cdot 6,0^4}{2,1 \cdot 10^4 \cdot 6381,7} = 0,146 \text{ см} . \quad (0.29)$$

Максимально допустимый прогиб для такой балки, при пролете в 5м, будет равен:

$$\frac{l}{200} = \frac{600}{200} = 3 \text{ см} > 0,146 \text{ см} . \quad (0.30)$$

Условие жесткости конструкции выполняется.

1.3. Численный расчет сталежелезобетонного перекрытия

Пространственная модель сталежелезобетонного перекрытия была замоделирована в программном комплексе «ANSYS» (рис. 1) с учетом нелинейных свойств материалов составного сечения перекрытия.

Размеры плиты 6х4 м. Все остальные характеристики и нагрузки такие же, как и в аналитическом расчете. После расчета сталежелезобетонного перекрытия на действие внешней нагрузки были получены максимальные прогибы и напряжения (рис. 2–6).

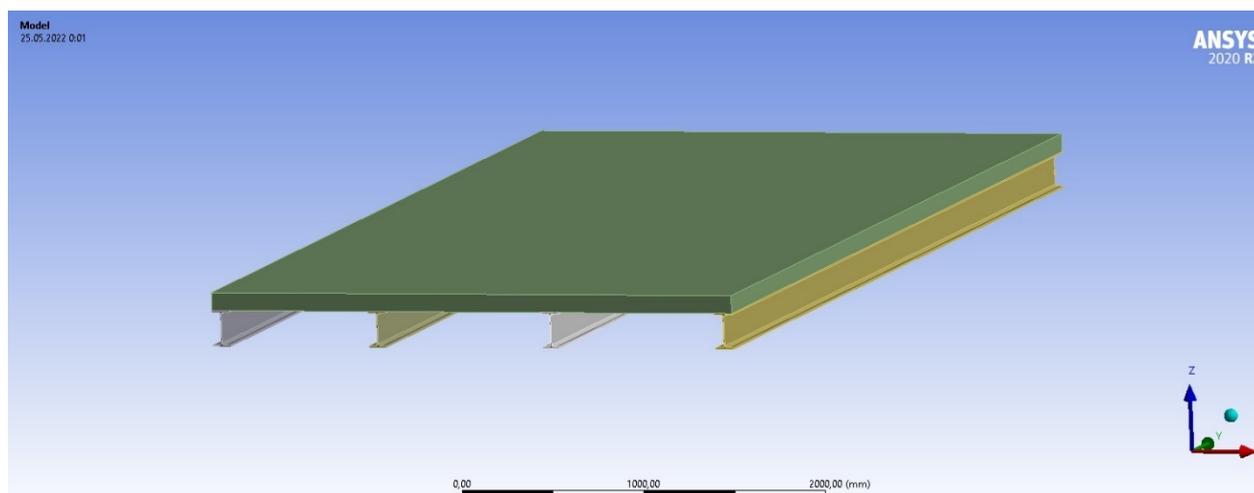


Рис. 1. Общий вид пространственной модели перекрытия

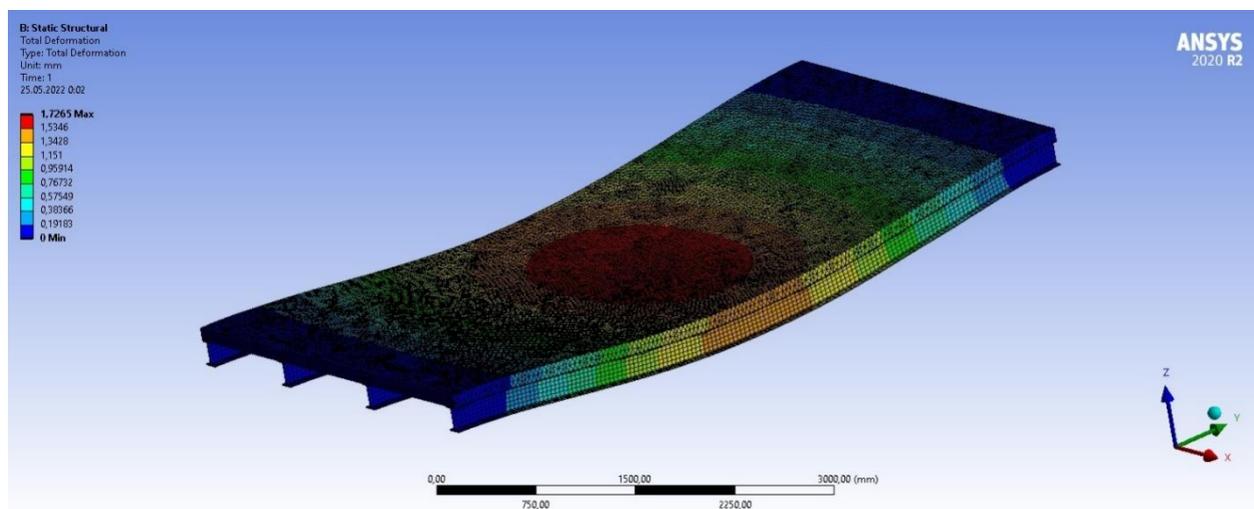


Рис. 2. Прогибы сталежелезобетонного перекрытия от действия внешней нагрузки

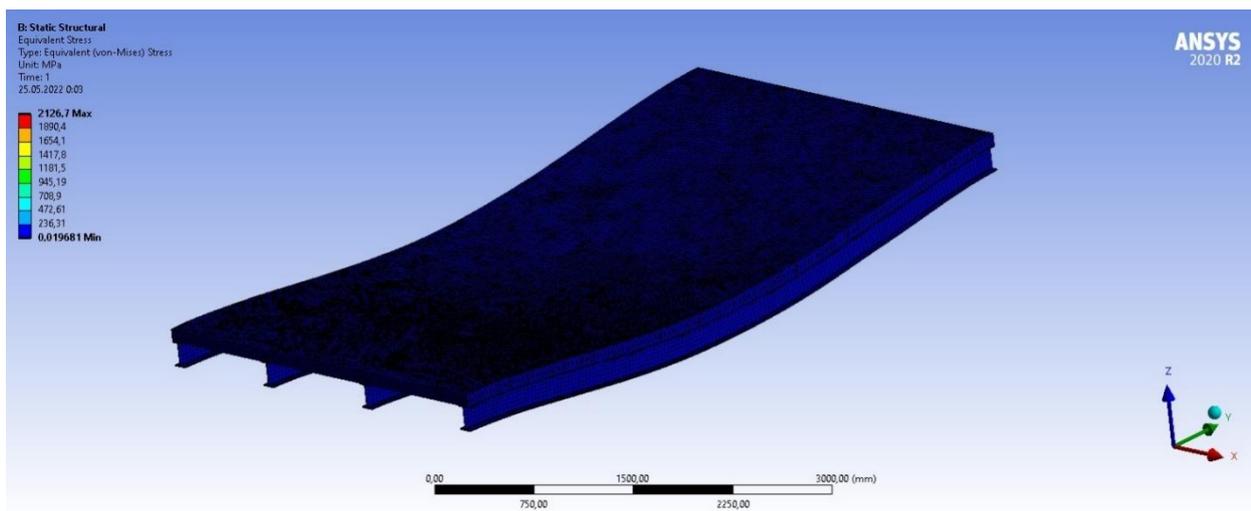


Рис. 3. Максимальные напряжения

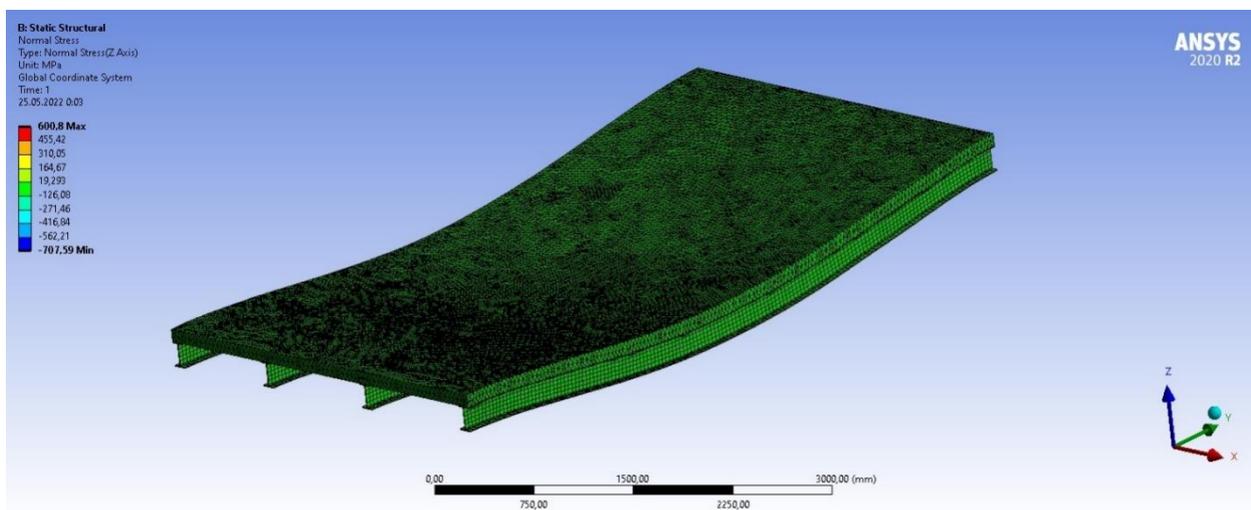


Рис. 4. Максимальные напряжения по оси z

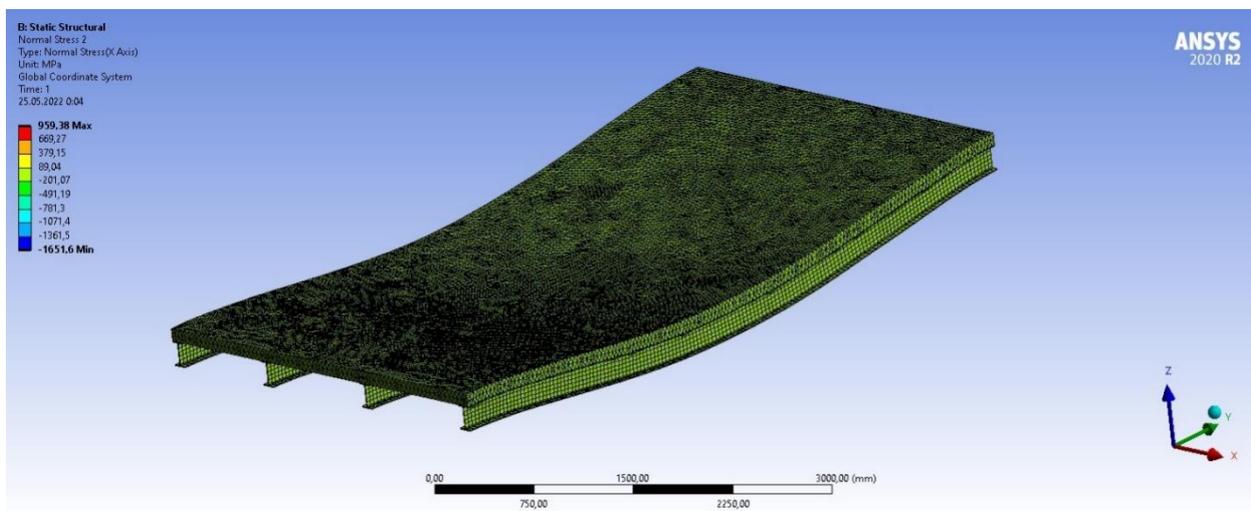


Рис. 5. Максимальные напряжения по оси x

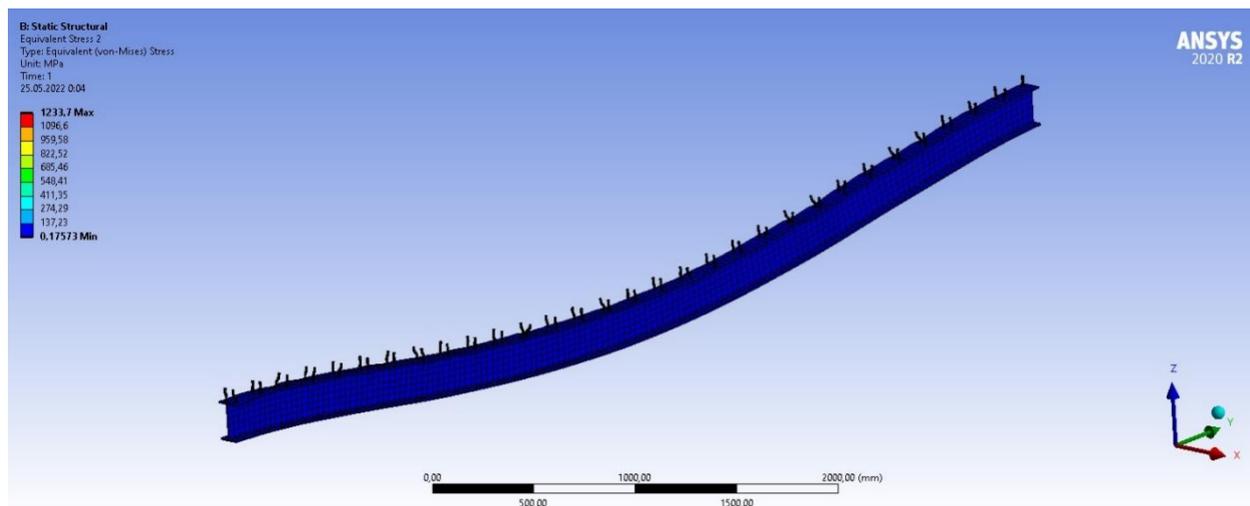


Рис. 6. Максимальные напряжения в отдельной балке

Анализируя полученные результаты аналитического и численного расчетов, становится видно, что увеличение значения прогибов перекрытия приблизительно равно 15 %. Таким образом, делаем вывод, что учет нелинейных свойств материалов составного сечения сталежелезобетонного перекрытия учитывать нужно. Однако стоит отметить, что при расчете конструкций с небольшим пролетом прогибы увеличиваются незначительно. Если же рассматривать пролетные конструкции, например — мостовые сооружения, где часто используются сталежелезобетонные перекрытия с учетом больших по значению нагрузок и различных по характеру воздействия на конструкцию, то в таких случаях учет нелинейных свойств просто необходим. В данном случае аналитический метод расчета сильно уступает численному. Так же в аналитическом методе не учитывается пространственная работа элементов сечения, что склоняет чашу весов в сторону именно численного метода расчета, где учитывается пространственная работа стали и железобетона, работа анкерных устройств и нелинейные свойства материалов перекрытия.

Литература:

1. СП 16.13330.2011. «Стальные конструкции». Госстрой России. — М.: ГУП ЦПП, 2002. — 96 с.
2. СП 52–101–2003. «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры». Госстрой России. — М.: ГУП НИИЖБ, 2004. — 59 с.
3. СП 63.13330.2012. «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». — Введ. 2013–01–01. — М.: Изд-во стандартов, 2012. — 161 с.
4. СП 266.1325800.2016. «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования». — Введ. 2017–07–01. — М.: Издательство стандартов, 2017. — 131 с.
5. Сталежелезобетонные конструкции перекрытий и покрытий общественных зданий // Реферат работы МНИИТЭП. — 1975. Реф. сб. «Строительные конструкции». — М.: Институт НТ информации, 1975. — 52 с. Сталежелезобетонные конструкции перекрытий и покрытий общественных зданий // Реферат работы МНИИТЭП. — 1975. Реф. сб. «Строительные конструкции». — М.: Институт НТ информации, 1975. — 52 с.
6. СТО АРСС 11251254.001–2016. «Сталежелезобетонные конструкции. Правила проектирования». — М.: АРСС, 2016. — 135 с.
7. Стрелецкий, Н. Н. Сталежелезобетонные пролетные строения мостов [Composite Steel-and-Concrete Superstructures of Bridges]. Moscow, Transport Publ., 1981, 360 p.

Исследование численной модели монолитного перекрытия по металлическим балкам в ПК Ansys

Трофимов Дмитрий Сергеевич, студент магистратуры;
Суходолов Михаил Валерьевич, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Для анализа пространственной работы монолитных перекрытий по металлическим балкам с частично или полностью нарушенным сцеплением анкеров проведен численный эксперимент с помощью ПК Ansys. Проанализированы две расчетные модели с учетом и без учета нелинейных свойств металла и сравнения их между собой.

Ключевые слова: *сталежелезобетонные конструкции, численные эксперименты, деформации, напряжения, нарушенное сцепление.*

Монолитные перекрытия по металлическим балкам. В конструкциях промышленных зданий, в специфику больших нагрузок, ключевым расчетом является по первой группе предельных состояний, в свою очередь расчету по второй группе предельных состояний уделяется меньше внимания, так как условие ограничения перемещай и прогибов выполняется автоматически. В отличие же от промышленных зданий, определяющим для гражданских становится расчет по второй группе предельных состояний, по причине относительно малых нагрузок.

Современные методы расчета, предписанные в нормативных документах [1–3], не позволяют достоверно оценить деформации конструкций, потому что в основе данных расчетов положены предпосылки об упругой и упругопластической работе материала, то есть расчеты ведутся с использованием недеформированных схем. По мимо этого, положение усугубляется, не всегда качественным выполнением монтажных работ, что может приводить к нарушению сцепления между конструкциями.

Если условное сцепление бетона с металлической частью перекрытия не соблюдено, то на границе материалов происходит взаимное проскальзывание, что ведет к уменьшению несущей способности и увеличению прогибов [4].

Анализируя опыт применения сталежелезобетонных перекрытий, показывает, что развитие прогибов и перемещений происходит с течением времени. Совокупность всех факторов приводит не только к дискомфорту при эксплуатации конструкций, но и к аварийному состоянию, приводящие к невозможности дальнейшей эксплуатации конструкций.

Для оценки влияния несущей способности и прогибов монолитного перекрытия по металлическим балкам с нарушенным сцеплением анкеров с бетоном, была использована численная модель в ПК Ansys.

Процесс решения задачи при применении ПК Ansys производится в три этапа. На первом этапе производятся необходимые настройки программы для решения задачи, генерируется геометрическая модель

конструкции, разбивается модель на конечные элементы с применением различных параметров сетки, задаются необходимые условия контакта между бетоном и сталью. На втором этапе для решения задачи накладываются необходимые граничные условия, выбирается необходимый тип анализа, метод и параметры вычислений. На третьем этапе производится непосредственный анализ расчета.

Расчетная модель имеет следующие параметры: железобетонная плита 6000x4000 высотой 100 мм, армирование сварными сетками из арматуры А500С 10 диаметра, подкрепленная 4 двутаврами № 20 по ГОСТ 8239–89 длиной 6000 мм с шагом 1000 мм (рис. 1)

Совместная работа стальных балок и железобетонной плиты обеспечивается при помощи вертикальных анкерных стержней, приваренных по всей длине к верхнему поясу двутавра с шагом 200 мм.

В качестве анкеров были замоделированы арматурные стержни $\varnothing 10$ из стали С245, обеспечение совместной работы производилось контактом Rough, так же случайным образом некоторым анкерам был задан контакт Frictionless, для моделирования отсутствия сцепления между бетоном и анкером.

В качестве объекта исследования были применены 2 расчетные модели с идентичными параметрами, но с различием в материалах. Для первой расчетной модели (тип 1) была применена нелинейная модель стали, для второй модели (тип 2) применялась линейная модель стали.

По результатам исследования в программном комплексе были получены результаты прогибов (рис. 2) и результаты развития деформаций в балках и плите (рис. 3) с учетом нелинейных свойств металла. Для сравнения были так же получены аналогичные результаты, но с применением линейной модели материала (рис. 4, 5). Анализируя полученные результаты прогибов можно наблюдать последовательное развитие деформаций от середины к концам балок, в плите наблюдается развитие прогибов от середины к стальным балкам, которые выступают в качестве опоры. Картина развития деформаций в металлических балках отличается в меньшую сторону от деформаций отдельных балок [5].

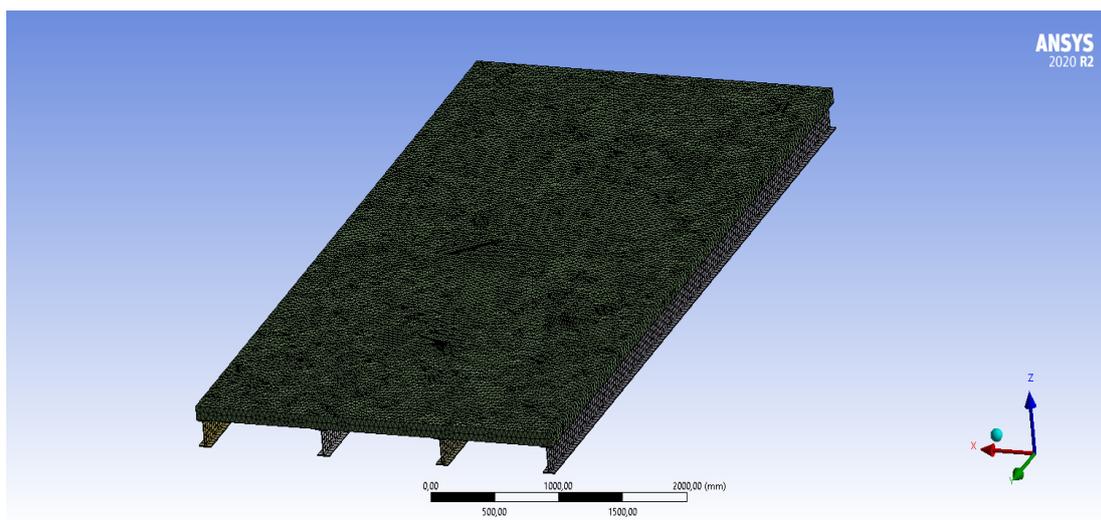


Рис. 1. Расчетная модель перекрытия

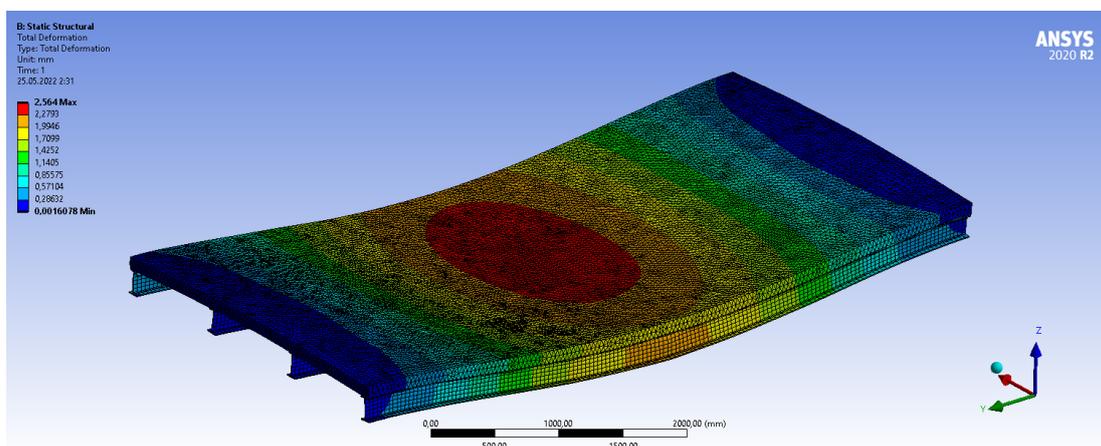


Рис. 2. Мозаика прогибов (тип 1)

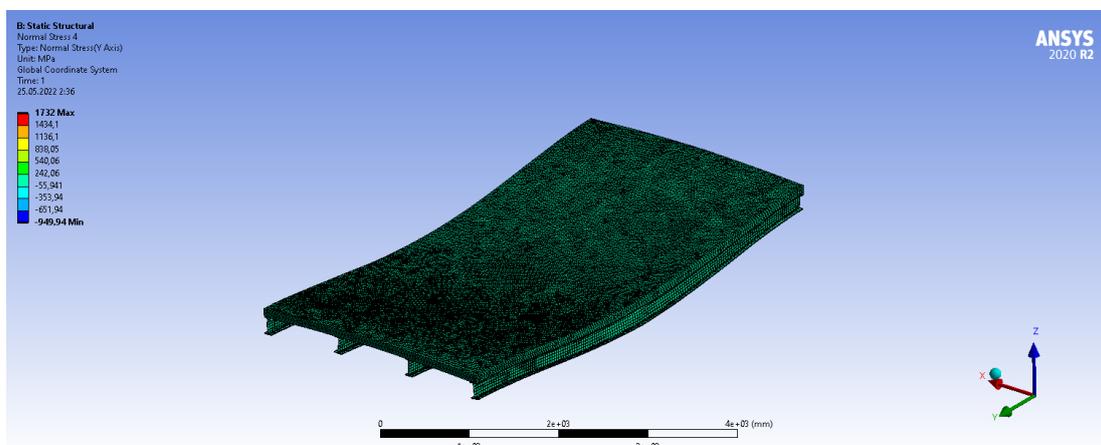


Рис. 3. Мозаика нормальных напряжений (тип 1)

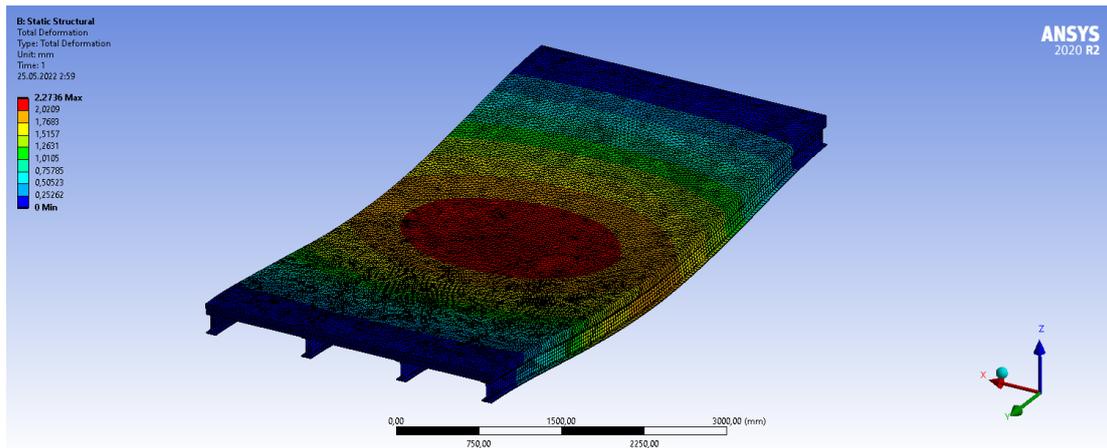


Рис. 4. Мозаика прогибов (тип 2)

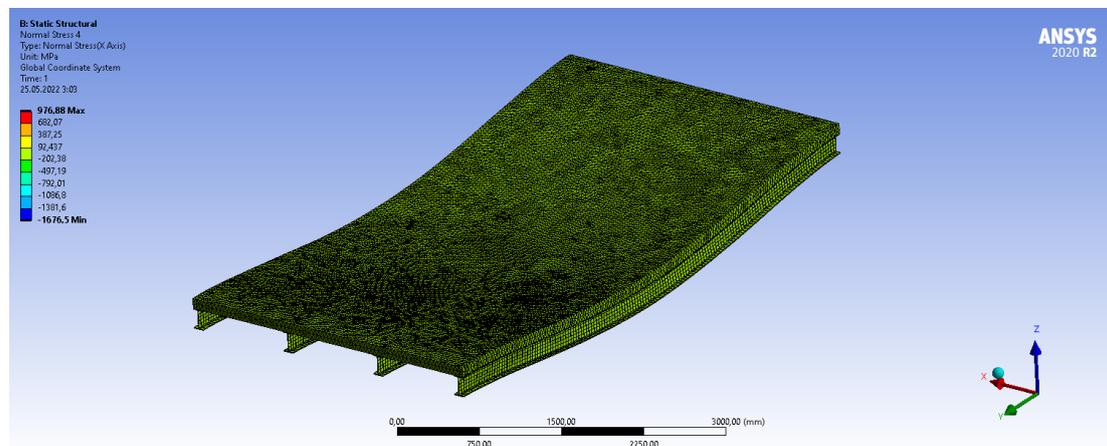


Рис. 5. Мозаика нормальных напряжений (тип 2)

Благодаря пространственной работе конструкции развитие деформаций как в балках, так и в железобетонной плите протекает с меньшей интенсивностью в сравнении с отдельными балками такого же сечения. По мимо этого железобетонная плита работает в двух направлениях, что позволяет распределять нагрузку балок равномерно.

Картина напряжений в анкерных стержнях (рис. 6) показывает, что в стержнях с нарушенным сцеплением возникают наибольшие значения, не зависимо от их расположения в пролете, в свою очередь для анкеров с обеспеченным сцеплением наблюдается закономерность роста напряжений по мере отдаления от середины пролета. Так же у анкеров с нарушенным сцеплением наблюдается наибольшая зона смятия бетона.

Используя для расчетов ПК Ansys можно получить достаточно достоверную картину распределения инфор-

маций, напряжений, а так же прогибов, показывающих пространственную работу конструкции в целом [6].

Подводя итог, основываясь на полученных данных, можно наблюдать следующую картину, численная модель, наглядно демонстрирует характер развития напряжений и деформаций перекрытия. В свою же очередь анализируя работу анкеров, можем наблюдать, что происходит иное распределение напряжений, в отличии от конструкций с полностью обеспеченным сцеплением, основываясь на этом можно сказать, при незначительном количестве анкеров с нарушенным или полностью отсутствующем сцеплении, происходят незначительные увеличения деформаций и напряжений плиты и балки, около 10 %. Также происходит увеличение зон смятия бетона пропорционально увеличению напряжений в анкерах с отсутствующим сцеплением.

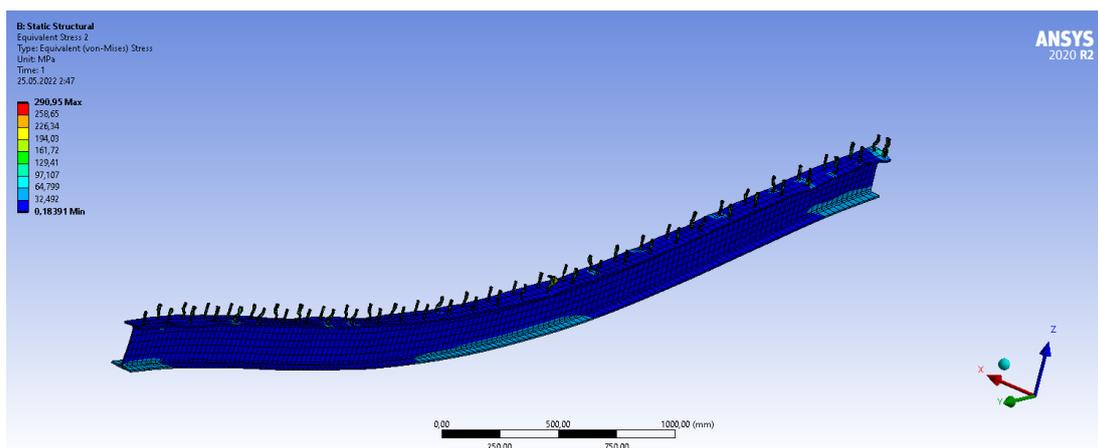


Рис. 6. Мозаика напряжения анкеров

Литература:

1. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. — Введ. 2017–07–01. — М.: Издательство стандартов, 2017.
2. СТО АРСС 11251254.001–2016 «Сталежелезобетонные конструкции правила проектирования». — М.: АРСС, 2016.
3. СП 35.13300.2011. Мосты и трубы. — Введ. 2011–05–20. — М.: Издательство стандартов, 2011
4. Обернихин, Д. В., Никулин, А. И. Экспериментальные исследования деформативности изгибаемых железобетонных элементов различных поперечных сечений // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — 2017. — № 4. — с. 56–59.
5. Замалиев, Ф. С., Гурьянов И. А., Шаймарданов Р. И., Хайрутдинов Ш. Н. Численные и натуральные эксперименты в исследованиях сталежелезобетонных конструкций. // Известия КГАСУ, 2012, № 1 (19). — с. 46–52
6. Замалиев, Ф. С. Численные эксперименты в исследованиях пространственной работы сталежелезобетонных перекрытий. // Известия КГАСУ, 2012, № 4 (22). — с. 102–107

Исследования работы монолитного перекрытия по металлическим балкам с нарушенным сцеплением при помощи численной модели

Трофимов Дмитрий Сергеевич, студент магистратуры
 Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье производится анализ различных форм контакта анкеров с бетоном в монолитном перекрытии по металлическим балкам при помощи ПК Ansys. Сделаны выводы о характере работы перекрытия.

Ключевые слова: сталежелезобетон, нарушенное сцепление, контакт, численная модель, анкеры.

На сегодняшний день технологии в сфере строительства развиваются с небывалой скоростью, но также к ним и увеличиваются требования, призванные обеспечивать надежность зданий и сооружений, сокращать сроки строительства, облегчать производство работ в трудных условиях. Большую популярность в таких условиях набирают композитные и составные конструкции, составные части, которых за счет индивидуальных положительных свойств компенсируют недостатки других.

Одной из набирающих популярность составных конструкций, является сталежелезобетон. Из множества строительных конструкций он относится к особому

классу в современном строительстве. Составная форма этих элементов многообразна, поэтому можно применять разные конструктивные системы. По названию можно сделать вывод, что сталежелезобетонные конструкции являются системой, состоящей из монолитного железобетона, стальной части и соединительных элементов [1]. Поэтому сталежелезобетон является отличным примером композитного материала.

Особенность работы сталежелезобетона обеспечивается из-за совместной работы железобетонной и стальной части. По сравнению с традиционными конструктивными материалами, сталежелезобетон обладает рядом

преимуществ. Если сравнивать с монолитными железобетонными конструкциями, то применение конструкций из сталежелезобетона позволяет уменьшить общий вес зданий и сооружений, значительно сократить сроки строительства, так же позволяет уменьшить расчетные сечения конструкций. В сравнении со стальными конструкциями, то сталежелезобетон обладает большей жесткостью и меньшим расходом стали, что в значительной степени удешевляет конструкции.

Как и в любой конструкции помимо положительных свойств, присутствуют некоторые сложности применения и недостатки. При расчетах необходимо учитывать стабильность производства работ, сдвиг материалов разной природы относительно друг друга, специфические воздействия и другие факторы. Совокупность данных факторов требует значительного количества исследований и экспериментов, где совмещены разные материалы по физико-химическим свойствам, по мимо всего этого, процесс усложняется устройством необходимостью устройства соединительных элементов, таких как анкерных стержней или стад-болтов, которые так же могут быть выполнены из различных материалов.

Одной из главных проблем при проектировании зданий и сооружений с применением сталежелезобетона является сложность расчета. Часто встает вопрос о назначении жесткостей, распределение которых оказывает существенное влияние на распределение усилий, кроме всего этого актуальным остается вопрос о корректном распределении напряжений в сечении композитного материала, обладающим внутренней статической неопределимостью для каждого материала. Возможности аналитических расчетов не всегда позволяют учесть выше изложенные факты, так как при производстве строительно-монтажных работ, могут возникать дополнительные факторы, оказывающие влияние, такие как некачественные материалы или допущение ошибок со стороны человека. Выходом из данной ситуации является проведение различных экспериментов, которые позволяют учесть выше изложенные факты, но за частую проведение эксперимента оказывается экономически не выгодно.

На сегодняшний день проведение численных экспериментов набирает все большую популярность. Современные программно-вычислительные комплексы позволяют проводить не только в линейной и нелинейной поставке, но и благодаря широкому спектру возможностей задавать и учитывать различные условия для задачи.

В настоящей статье рассматривается монолитное перекрытие по металлическим балкам с нарушенным сцеплением анкеров. Для выполнения расчета была построена модель перекрытия в ПК Autodesk Revit и далее импортирована в ПК Ansys, где были заданы граничные условия, материалы и условия контакта для стержневых анкеров, моделирующих различные типы сцепления с бетоном.

Катин в своей работе [2] утверждает, что в предельном состоянии в поперечном сечении гибкого стержня при

воздействии сдвигающей нагрузки наступает текучесть стали, а величина расчетной нагрузки на вертикальный анкер может определяться по формуле: $T = k_{тр} \cdot R_a \cdot A_{ан}$,

где $k_{тр}$ – коэффициент трения стали по бетону, принимаемый равным $0,45 \div 0,7$.

Однако в работе стержневого анкера необходимо также учитывать влияние бетона на прочность контакта. Кроме того, нужно обратить внимание на то, что разрушение анкерной связи возможно также и от раскалывания бетона, т. е. прочность анкерной связи в равной степени зависит как от прочности самого анкера, так и от прочности окружающего его бетона. Базируясь на этот вывод, Г. Г. Шорохов [3] на основании экспериментальных исследований установил зависимость для определения прочности вертикального анкера: $T = 0,075 \cdot R_a \cdot d_a \cdot \sqrt{R_b}$

Результаты исследований гладких анкеров с головками нашли отражение в расчетных выражениях для определения прочности анкерных связей, приведенных в нормах США AASHTO [4].

Выражения применительно к нашим характеристикам материалов могут принимать следующий вид:

$$T = 100 \cdot d_a^2 \cdot \sqrt{R_b}, \text{ при условии } l_a/d_a \geq 4,5$$

$$T = 24 \cdot l_a \cdot d_a \cdot \sqrt{R_b}, \text{ при условии } l_a/d_a < 4,5$$

Во многих нормах, как российских, так и зарубежных, рекомендуется производить проверку анкеров на срез и смятие бетона.

Во многих источниках так же указывается что для надежной анкеровки достаточно длины анкера равной 7 диаметрам анкера [5].

Проведя анализ нормативной литературы, был сделан вывод, что не предъявляются требования к анкерам с отсутствующим сцеплением.

Для анализа сталежелезобетонных конструкций с нарушенным сцеплением, как было сказано ранее, был применен ПК Ansys. Для реализации различных форм контакта бетона и стальных анкеров были применены встроенные функции программного комплекса. В качестве исследования были рассмотрены 3 расчетные модели с различными формами контакта:

— В первой модели для контакта между анкерами и бетоном был применен Rough, моделирующий разрыв без скольжений, что подразумевает жесткое сцепление между телами

— Во второй модели был применен контакт Frictionless, моделирую скольжение без трения

— В третьей модели использован контакт Friction, моделирующий скольжение с трением, был применен коэффициент трения 0,5

В качестве анкеров были использованы арматурные стержни $\varnothing 10$, установленные в 2 ряда с шагом 200 мм и прикрепленные жестко к двутавровой балке. Расчетная модель представлена на рис. 1.

Напряжения анкеров с контактом Rough приставлены на рис. 2.

Деформации анкеров с контактом Rough приставлены на рис. 3.

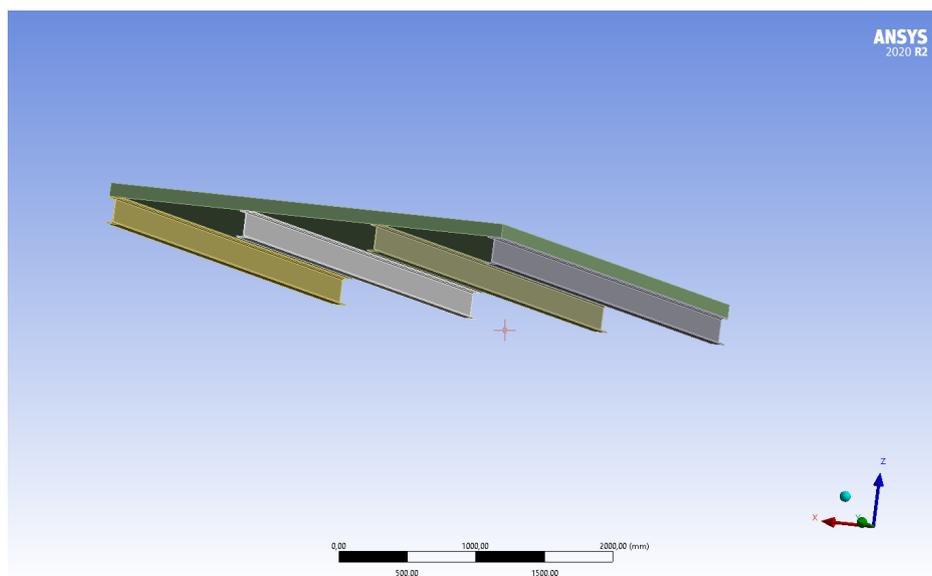


Рис. 1. Расчетная модель

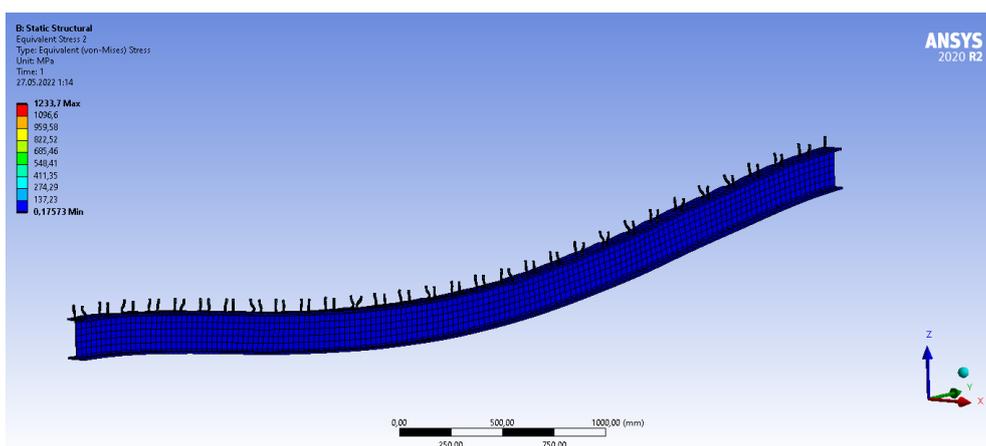


Рис. 2. Напряжения в анкерах при жестком контакте

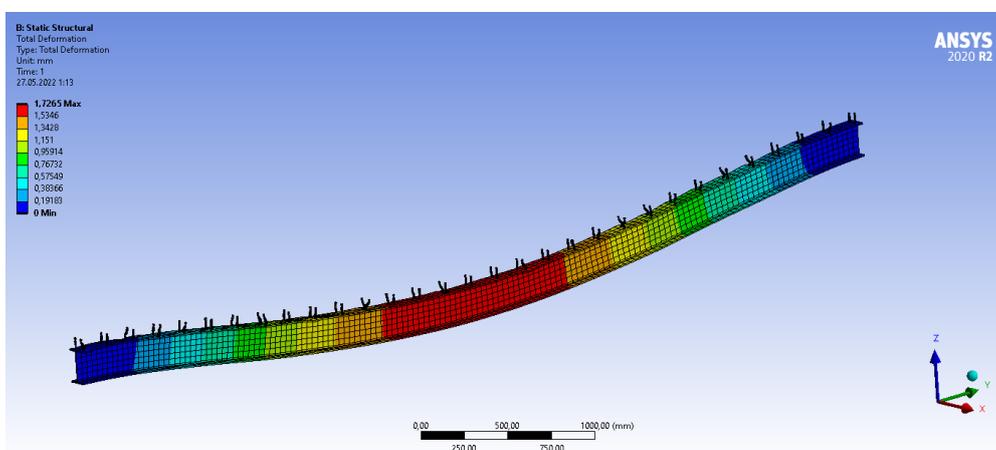


Рис. 3. Напряжения в анкерах при жестком контакте

При данной форме контакта можно наблюдать что пространственная работа конструкции обеспечивается.

Видна закономерность роста деформаций и напряжений от середины пролета к краям металлической балке. Так же анализируя напряжения можно сказать что происходит равномерный рост контактных зон смятия бетона.

Далее для сравнительного анализа была проанализирована численная модель с нарушенным сцеплением анкеров.

Деформации анкеров с контактом Frictionless приставлены на рис. 4.

Напряжения анкеров с контактом Frictionless приставлены на рис. 5.

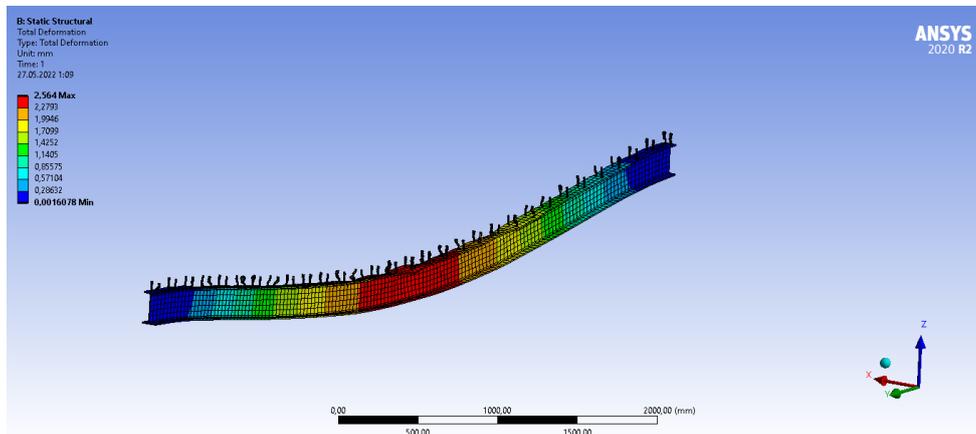


Рис. 4. Деформации в анкерах при отсутствии сцепления

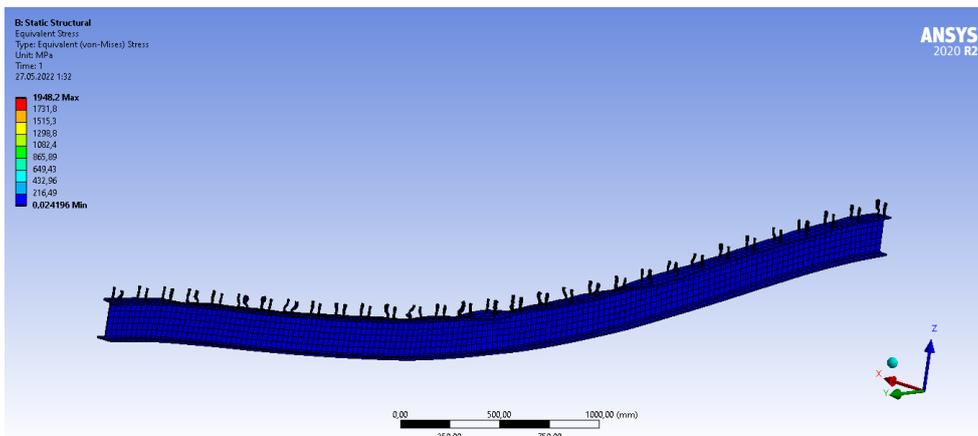


Рис. 5. Напряжения в анкерах при отсутствии сцепления

У анкеров с нарушенным сцеплением увеличиваются деформации приблизительно на 68 %, в тоже время напряжения увеличиваются приблизительно на 63 %. В то время как у анкеров с обеспеченным сцеплением рост происходит незначительный, что говорит о перераспределении напряжений между анкерами.

Дальнейшая анализ проводился у модели с заданным коэффициентом трения у анкеров.

Деформации анкеров с контактом Friction приставлены на рис. 6.

Напряжения анкеров с контактом Friction приставлены на рис. 7.

В модели с заданным коэффициентом трения так же происходит рост деформаций относительно обеспечен-

ного контакта на 68 %, но относительно отсутствия сцепления деформации меньше уменьшаются примерно на 1 %, напряжения в свою очередь остаются прежние. Но при этом происходит равномерный рост контактных зон смятия бетона, что говорит о более опциональной форме данного контакта, как для анализа конструкции с нарушенным сцеплением.

По результатам проведенных анализов, можно сказать для анализа анкеров с нарушенным сцеплением наиболее опционально подходит функция задания контакта Friction с экспериментальным или численным определением коэффициента трения для получения более точной картины поведения конструкции.

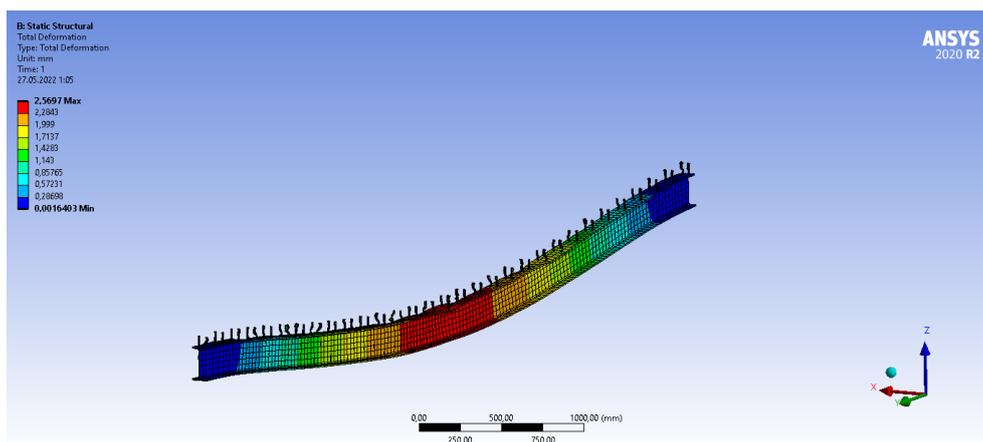


Рис. 6. Деформации в анкерах при коэффициенте трения 0,5

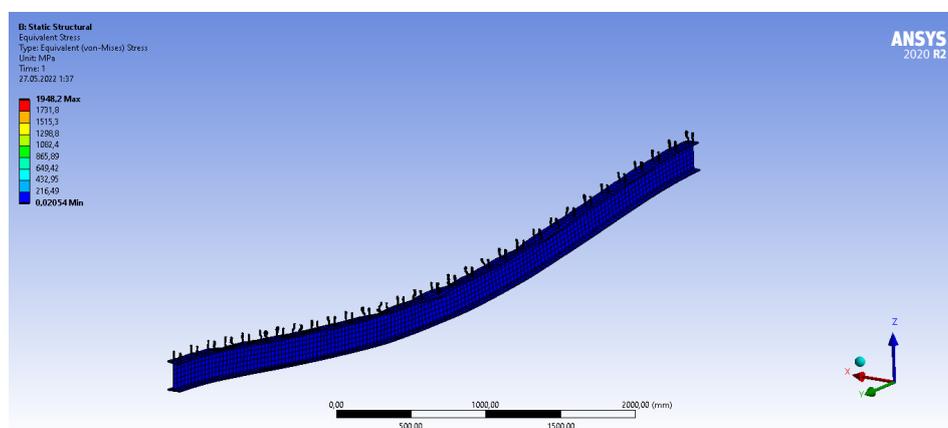


Рис. 7. Напряжения в анкерах при коэффициенте трения 0,5

Литература:

1. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. — Введ. 2017-07-01. — М.: Издательство стандартов, 2017.
2. Катин, Н. И. Работа закладных деталей с нормальными гибкими анкерами: Расчет и конструирование железобетонных конструкций / Н. И. Катин, Б. А. Шитиков. — М.: Стройиздат, 1972. — с. 62
3. Шорохов, Г. Г. Анализ работы стыков на закладных деталях при сдвиге панелей: Сейсмостойкость крупнопанельных и каменных зданий // Труды ЦНИИСК / Г. Г. Шорохов. — М.: Стройиздат, 1967. — с. 119-125.
4. Standard specification for Highway Bridges (AASHTO). Washington, 1977, — 496pp.
5. Гудковский, В. А., Пастушков Г. П. К расчету прочности и деформативности армированных контактов изгибаемых сборно-монолитных конструкций, работающих в условиях однократных статических нагрузжений / В. А. Гудковский, Г. П. Пастушков. — Минск: Строительные конструкции, 1983. — с. 143-149.

Устройство бетонных полов из самоуплотняющегося бетона

Шестернин Илья Андреевич, студент магистратуры

Бендерский политехнический филиал Приднестровского государственного университета им. Т. Г. Шевченко (Молдова)

В статье рассматриваются создание, состав, свойства и преимущества устройства бетонных полов из самоуплотняющегося бетона по сравнению с бетонными полами из обычных бетонов. Благодаря своим свойствам самоуплотняющийся бетон применяют в следующих сферах строительства: при сооружении гидротехнических конструкций; для изготовления сборного железобетона; при строительстве монолитных полов без швов; для конструкций с качественной поверхностью, на которой не требуется дополнительная обработка.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, архитектурные конструкции, бетонные полы из самоуплотняющегося бетона.

Construction of concrete floors of self-sealing concrete

The article discusses the creation, composition, properties and advantages of the device of concrete floors made of self-compacting concrete in comparison with concrete floors made of conventional concrete. Due to its properties, self-compacting concrete is used in the following areas of construction: in the construction of hydraulic structures; for the manufacture of precast concrete; in the construction of monolithic floors without seams; for structures with a high-quality surface, on which no additional processing is required.

Keywords: self-compacting concrete, architectural structures, concrete floors made of self-compacting concrete.

Использование бетона играет жизненно важную роль в повседневной жизни общества. Бетон является наиболее часто используемым промышленным материалом в мире: ежегодно используется почти три тонны на человека в мире; Его польза для общества огромна, так как он используется для строительства школ, больниц, жилых домов, мостов, туннелей, плотин, канализационных систем, тротуаров, взлетно-посадочных полос, дорог и многого другого. В настоящее время немногие материалы в мире могут соперничать с бетоном по эффективности, цене и эксплуатационным характеристикам — особенно в качестве бетонных полов из самоуплотняющегося бетона.

Самый большой в мире купол из неармированного бетона, Пантеон в Риме, до сих пор находится в отличном состоянии после почти 1900 лет эксплуатации. Бетон сам по себе является прочным строительным материалом, но в этом столетии многие современные бетонные конструкции приходят в негодность. Критическая разница между древними и современными конструкциями заключается в использовании стальной арматуры. С добавлением стали возникают новые проблемы. Основная трудность заключается в коррозии из-за проникновения воды, что может сократить срок службы конструкции и увеличить затраты на техническое обслуживание.

«При раскопках на берегу Дуная археологи обнаружили остатки жилья 5000-летней давности, где полы толщиной 25 см представляли собой доисторическую бетонную заливку: в качестве вяжущего вещества выступала красная глина, армирующим элементом служил мелкий речной гравий».

Таким образом, эволюция бетонного пола идёт с вв. до н. э. и более ранних периодов до настоящего времени по пути совершенствования вяжущего от красной глины до извести.

Небоскреб One57, завершённый в 2014 году в Нью-Йорке, был самым высоким жилым зданием в городе на момент его завершения и является примером того, как кристаллическая технология может использоваться для гидроизоляции в высокопроизводительной среде. Критической проблемой для здания такого размера является сложность тушения пожара на верхних этажах здания.

В таких случаях устанавливается система пожаротушения. Однако эти системы требуют хранения больших объемов воды, а это означает, что протечки, поступающие в блоки или ограждающие конструкции, могут стать проблемой. Кристаллическая мембрана использовалась для гидроизоляции большого бетонного резервуара на 75^{-м} этаже, который установлен на подвесной плите.

Использование внутренней мембраны позволило избежать типичных проблем, связанных с этими резервуарами, которые часто изготавливаются из стали (которая подвергается коррозии), дерева (со временем разлагающегося) или бетона, который опирается на внешнюю мембрану, которая может порваться.

Использование кристаллической технологии для гидроизоляции бетона обеспечивает системе пожаротушения достаточную долговечность, чтобы обеспечить срок службы конструкции без трещин или утечек, которые могут привести к повреждению.

Коррозия закладной стальной арматуры возникает при попадании воды на поверхность бетона. Как есте-

ственный пористый материал, бетон склонен к растрескиванию в течение срока службы из-за различных факторов, включая раннюю усадку и нагрузку. Эти трещины становятся каналом для воды и химикатов на водной основе, что приводит к коррозии стали. Это, в свою очередь, поставит под угрозу долговечность конструкции, что приведет к неизбежному сокращению срока ее службы.

Для возникновения коррозии в железобетоне необходимы три компонента: сталь, вода и кислород. Устранение любого из них предотвратит химическую реакцию и повреждения, вызванные коррозией.

Есть две основные причины коррозии стали в железобетонной конструкции:

- Ионы хлорида вызывают локальное разрушение пассивирующей пленки на стали;
- Карбонизация вызывает общее разрушение пассивной пленки.

При коррозии стали образующаяся ржавчина занимает больший объем, чем сама сталь. Это расширение создает растягивающие напряжения в бетоне, что в конечном итоге может привести к отслаиванию, расслаиванию и растрескиванию.

Коррозия армированной стали в бетоне является глобальной проблемой и способствует износу конструкций. На коррозию приходится более 80 процентов всех поврежденных железобетонных конструкций, что влечет за собой значительные затраты на ремонт для стран по всему миру.

Одним из способов предотвращения проникновения воды в бетон является использование внутренней мембраны. Если бетон может самогерметизироваться, блокируя проникновение, материал сам по себе становится гидроизоляционным барьером. Это контрастирует с более традиционными средствами гидроизоляции, которые обычно включают нанесение покрытия или мембраны на бетонную поверхность или установку гидрофильной или поливинилхлоридной (ПВХ) гидроизоляции. Иногда также пытаются предотвратить проникновение влаги путем уплотнения бетона или корректировки состава бетонной смеси.

Применение самоуплотняющегося бетона может только улучшить качество строительного производства и улучшить безопасность на производстве. Метод самоуплотняющейся гидроизоляции бетона доказал свою эффективность благодаря успешному применению в самых разных конструкциях и климатических условиях по всему миру.

В этом методе кристаллические химические вещества способствуют реакции, в результате которой в процессе карбонизации образуются длинные узкие кристаллы. Эти кристаллы заполняют поры, капилляры и микротрещины бетонной массы. Пока присутствует влага, кристаллы продолжают расти по всему бетону.

После высыхания бетона кристаллические химические вещества находятся в состоянии покоя до тех пор, пока не образуются новые трещины (в результате нагрузки или

воздействия) и дополнительная вода не начинает проникать в материал, после чего кристаллизация начинается снова.

Кристаллизация позволяет бетону самостоятельно заделывать небольшие трещины без посторонней помощи или усилий по ремонту, уменьшая потребность в дорогостоящем обслуживании конструкции и увеличивая срок ее службы. Процесс самозаживления (аналогичный процессу заживления пореза бумагой, когда кожа со временем стягивается) — это зависящее от времени явление, на которое влияют четыре естественных механизма:

- Образование карбоната кальция или гидроксида кальция;
- Постоянное увлажнение;
- Осаждение частиц;
- Набухание цементной матрицы.

Университет Виктории в Британской Колумбии исследовал влияние реактивной гидрофильной химической гидроизоляционной добавки, добавляемой в процессе приготовления бетонной смеси. Исследования показывают, что введение добавки не только снижает проницаемость бетона, но и улучшает самоуплотняющие свойства бетона.

Для исследования был разработан метод испытаний для моделирования и анализа реальных условий процесса самоуплотнения и исследования влияния гидроизоляционных кристаллических добавок на свойства самоуплотнения.

Кристаллическая технология устраняет необходимость во внешних мембранах, становясь частью самого бетона внутри. За последние несколько десятилетий эта технология была принята строительной отраслью как превосходная замена обычным мембранам, обеспечивающая гибкость и экономию времени и средств, не имеющих себе равных с традиционными методами гидроизоляции.

«Этот материал уникален тем, что обладает способностью конденсироваться под собственным весом. Проще говоря, когда в опалубку заливаются обычные растворы, необходим герметик для бетона. Рассматриваемый нами тип решений способен полностью заполнять любые формы, даже при изготовлении плотно армированных конструкций.

Технология новая, но, несмотря на это, она используется все чаще и чаще. Наиболее перспективной областью применения таких бетонов является промышленное производство сборного железобетона и строительство монолитных конструкций, таких как, например, высокопрочные бесшовные бетонные полы. Технология не менее востребована при проведении торкретбетонного бетонирования, армирования и восстановления уже используемых конструкций» [5, с. 18-19].

В 70-х годах прошлого века был разработан ряд высокопрочных бетонов, модифицированных рядом добавок-суперпластификаторов. Например, в 1970 году такие составы использовались при возведении монолитных конструкций на нефтедобывающих платформах, эксплуатируемых в особо сложных климатических условиях.

В соответствии с ГОСТ 7473–2010 самоуплотняющийся бетон отличается от обычного бетона пониженным водоцементным соотношением (не более 0,4), при этом достигается высокая обрабатываемость материала: в среднем — 70 см. Прочностные параметры готовых конструкций составляют не менее 100 МПа.

При строительстве и последующей эксплуатации таких конструкций были сформулированы рекомендации и ограничения относительно введения суперпластификаторов: введение суперпластификаторов в определенной дозировке может привести к замедлению схватывания смеси. При транспортировке смеси в течение 1 часа и более эффективность введенной добавки снижается, в результате снижается степень подвижности раствора. «Применение суперпластификаторов провоцирует расслоение плотной смеси при транспортировке по трубопроводу на расстояние более 200 метров. В результате качество готового продукта значительно снижается. Это обстоятельство следует учитывать особо при промышленном строительстве с использованием специальных бетононасосов.

Широкое внедрение грандиозных строительных проектов продиктовало необходимость производства принципиально нового бетона, отвечающего самым высоким эксплуатационным требованиям. Среди этих требований следует особо отметить сжатые сроки, необходимые как для бетонирования, так и для достижения максимальной прочности готового изделия» [6, с. 84–88].

«История самоуплотняющегося бетона началась в Японии в 1990 году. Там профессор Чайма Окамура создал и внедрил в практику новое поколение добавок к бетону — высокоэффективные добавки для улучшения текучести на основе полиакрилата и поликарбоксилата» [3, с. 40–42].

В результате удалось получить бетон с высокой пластичностью при низком содержании воды. «В дополнение к Окамура, профессора К. Маекава и К. участвовали в создании и разработке самоуплотняющегося бетона. Озава. Однако еще в 1986 году японские ученые разработали особо прочную композицию самоуплотняющегося бетона с рядом уникальных качеств. Новый материал получил название «Sotrasypd Sops» [1, с. 9–15].

Уникальным свойством раствора была возможность уплотнения за счет механической нагрузки собственного веса. В результате разработка нового типа материала позволила отказаться от использования бетонного герметика. Промышленное применение раствора было начато в 1996 году, чуть позже были проведены полноценные испытания материала *in vivo*. Только в 2004 году были окончательно определены особенности эксплуатации самоуплотняющегося бетона и проведена их классификация.

Благодаря своим уникальным свойствам и преимуществам самоуплотняющийся бетон получил широкое распространение в Западной Европе. Сначала он использовался на предприятиях, производивших готовые железобетонные изделия. Затем самоуплотняющийся бетон начинает активно использоваться в качестве так

называемого «транспортного бетона», то есть бетона, который доставляется и укладывается непосредственно на строительную площадку.

Дальнейшая активная разработка и изучение самоуплотняющегося бетона происходили в Германии. Таким образом, после тщательного изучения свойств самоуплотняющегося бетона, проведенного в Институте строительных исследований в Ахене (Германия) в 2000–2001 годах под руководством профессора Вольфганга Брамешубера по заказу компании «Dyckerhoff Beton GmbH», появились первые предпосылки для официального приема и распространения этого материала по всей Европе была создана. Исследования в Ахене показали, что прочность на сжатие самоуплотняющегося бетона обычно выше, чем у обычного «вибрирующего» бетона, а прочность на растяжение, статический модуль упругости, усадка и ползучесть одинаковы. Кроме того, материал обладал отличными водонепроницаемыми свойствами и, таким образом, был официально одобрен и рекомендован для использования при строительстве водонепроницаемых конструкций. Бетон получил название «Dyckerhoff Liquidur» и, благодаря своим уникальным свойствам, начал активно распространяться по строительным площадкам Европы.

Последним аргументом в пользу широкого использования самоуплотняющегося бетона в Западной Европе стала публикация в Берлине Немецким комитетом по железобетону в ноябре 2003 года нормативного документа «DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie)». В этом документе подробно описаны термины и взаимосвязи с другими европейскими нормативными документами по строительству, а также методы диагностики самоуплотняющегося бетона. Таким образом, после выхода этого документа самоуплотняющийся бетон был официально одобрен и разрешен к использованию в Европе без необходимости получения дополнительных разрешений, согласований и согласований [2].

В настоящее время активно продолжается изучение самоуплотняющегося бетона и методов его диагностики. Такие исследования проводятся, например, на факультете гражданского строительства Технического университета Берлина под руководством профессора Бернда Хиллемейера и доктора Джеральдин Бухенау. Основная часть материалов этих исследований (вместе с исследованиями других немецких ученых) была опубликована в 2006 году в так называемом «Календаре бетона» в разделе «Специальные бетоны» [4, с. 28–31].

На строительных площадках очень часто приходится сталкиваться с ситуациями, когда использование самоуплотняющегося бетона просто необходимо [1, с. 24–29]:

1. при бетонировании на большой высоте или на воде, когда процесс уплотнения чрезвычайно сложен, требует значительных средств и небезопасен для персонала;
2. при бетонировании плотно армированных конструкций, где обычный бетон не заполняет всю полость опалубки, что впоследствии может привести к дефектам и преждевременной коррозии;

3. при бетонировании конструкций сложной геометрической формы, а также конструкций с особыми требованиями к качеству наружной поверхности.

Если также принять во внимание тот факт, что многие компании уже приобрели высококачественную современную опалубку, а самоуплотняющийся бетон в точности повторяет поверхность опалубки и не имеет пустот и углублений, то использование этого бетона даст заметно более высокое качество наружной поверхности, чем при использовании обычного бетона и полы готовы к финишному декоративному покрытию.

Во многих случаях отпадет необходимость в дальнейшей отделке: шпаклевке и т. д., а это также при-

водит к значительному снижению затрат на строительство. Кроме того, из-за отсутствия процесса вибрации можно использовать более простую и менее массивную конструкцию опалубки и меньшее количество смеси для стяжки.

Поскольку отпадет необходимость в уплотнении бетонной смеси пола на строительной площадке из-за использования самоуплотняющегося бетона, а бетон можно подавать непосредственно в опалубку, а не сверху, количество персонала, занятого бетонированием, может быть сокращено. Следовательно, можно будет сэкономить деньги и повысить безопасность труда при выполнении бетонных полов из самоуплотняющегося бетона.

Литература:

1. Александров, Я. А. Выбор сырьевых материалов для производства самоуплотняющихся бетонов // *Технология бетонов*. — 2021. — № 3–4. — с. 18–19.
2. Болотских, О. Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика // *Технологии бетонов*. — 2018. — № 10. — с. 28–31.
3. Болотских, О. Н. Бетон который течет и уплотняется сам // *Строительство — отраслевой журнал*. — 2015. — № 9. — с. 40–42.
4. Коровкин, М. О. Исследование эффективности суперпластификатора С-3 в вяжущем низкой водопотребности // *Строительство и реконструкция*. — 2021. — № 2. — с. 84–88.
5. Оучи, М. Самоуплотняющиеся бетоны: разработка, применение и ключевые технологии / *Труды 1-й Всероссийской конференции по бетону и железобетону «Бетон на рубеже третьего тысячелетия»*. — М., 2021. — с. 209–215.
6. Мозгалев, К. М., Головнев С. Г. Самоуплотняющиеся бетоны: возможности применения и свойства // *Академический вестник УралНИИПроект РААСН*. — 2021. — № 4. — с. 70–74.
7. Несветаев, Г. В. Технология самоуплотняющихся бетонов // *Строительные материалы*. — 2018. — № 3. — с. 24–29

Молодой ученый

Международный научный журнал
№ 21 (416) / 2022

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»

Номер подписан в печать 08.06.2022. Дата выхода в свет: 15.06.2022.

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; <https://moluch.ru/>

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.