



# ИГЭС

Институт  
гидротехнического  
и энергетического  
строительства

## ДНИ СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУКИ

Сборник докладов научно-технической конференции  
по итогам научно-исследовательских работ студентов  
института гидротехнического и энергетического строительства  
(ИГЭС) НИУ МГСУ

*(г. Москва, 28 февраля — 4 марта 2022 г.)*

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2022

ISBN 978-5-7264-3042-3

Москва  
Издательство МИСИ – МГСУ  
2022

УДК 62+378

ББК 38

Д54

- Д54 **Дни студенческой науки** [Электронный ресурс] : сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института гидротехнического и энергетического строительства (г. Москва, 28 февраля — 4 марта 2022 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, институт гидротехнического и энергетического строительства. — Электрон. дан. и прогр. (16 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2022. — URL: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> — Загл. с титул. экрана.  
ISBN 978-5-7264-3042-3

В сборнике содержатся доклады участников научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института гидротехнического и энергетического строительства МГСУ за 2021–2022 учебный год, которая проходила с 28 февраля по 4 марта 2022 г. в НИУ МГСУ.

Для обучающихся по всем направлениям подготовки, а также для всех читателей, интересующихся современными тенденциями в студенческой науке строительного вуза.

*Научное электронное издание*

*Доклады публикуются в авторской редакции.  
Авторы опубликованных докладов несут ответственность  
за достоверность приведенных в них сведений.*

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2022

Ответственные за выпуск:

*С.А. Сергеев, В.М. Черкина, А.С. Субботин, С.С. Родионов, С. М. Сельвиан*

Макет подготовлен оргкомитетом конференции  
Институт гидротехнического и энергетического строительства  
(ИГЭС НИУ МГСУ).  
Тел. +7 (499) 183 43 83  
E-mail: [iges@mgsu.ru](mailto:iges@mgsu.ru)

Сайт [www.mgsu.ru](http://www.mgsu.ru)  
<http://iges.mgsu.ru/universityabout/Struktura/Instituti/IGES/>

*Для создания электронного издания использовано:*  
Microsoft Word 2013, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 23.05.2022. Объем данных 16 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет»  
129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

Издательство МИСИ – МГСУ,  
Тел + 7 (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.  
E-mail: [ric@mgsu.ru](mailto:ric@mgsu.ru), [rio@mgsu.ru](mailto:rio@mgsu.ru)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### СЕКЦИЯ ГИДРАВЛИКИ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

<i>Ляхова Е.Ю., Терентьева А.А.</i> Оценка мероприятий по борьбе с наводнениями в нижнем течении реки Терек	9
<i>Иванченко В.К.</i> Анализ особенностей морской нефтегазодобычи в условиях арктических и субарктических морей	20
<i>Кулинкин Я.Д.</i> Исследование волнения на акваториях морских портов, защищенных оградительными сооружениями	30
<i>Ступивцев А.В.</i> Оптимизация профиля бетонной плотины в условиях слабого основания и высокой сейсмичности	36
<i>Рыбакова К. А.</i> Воздействие поперечных береговых сооружений на переформирование прилегающего пляжа	47
<i>Алмасри Амер Салех.</i> Сравнительный анализ расчета фильтрации через тело плотины “Аль-Балута” в Сирии	60
<i>Медведева А. В.</i> Обеспечение водообмена акватории яхтенной гавани с помощью дополнительного расхода воды через оградительный мол	68
<i>Кузнецов А.Н.</i> Определение высот экстремальных (раз в 10 000 лет) волн для расчета нагрузок на оградительный мол порта Певек	78
<i>Гармашов А. В.</i> Водосбросные сооружения гидроузлов с использованием закрученных потоков	91
<i>Макарова Я.А.</i> Особенности конструктивных решений портовых сооружений для участков с интенсивным волнением	100
<i>Кравченко А.А., Дмитриенко А.А.</i> «Стены в грунте» как противофильтрационные устройства грунтовых плотин	112
<i>Баврин П. С.</i> Особенности расчёта параметров микроклимата в подземных ГТС на примере Рогунской ГЭС	117
<i>Майборода В.В.</i> Гидравлический расчет водобойного колодца ГЭС в Узбекистане	123
<i>Ли Юнпань.</i> Сооружения для регулирования стока воды реки Миньцзян провинции Сычуань	131

### СЕКЦИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЕ И ПОДЗЕМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

<i>Митин В.В.</i> К вопросу определения деформационных характеристик скальных трещиноватых грунтов	137
--	-----

<i>Каиубин К.П.</i> Опыт устройства ограждающих конструкций и распорной системы котлована в стесненных городских условиях	143
<i>Алексеева А.А.</i> Сопоставление различных типов нагружения при определении предельно длительного сопротивления грунта срезу по поверхности смерзания	148
<i>Кудинова Я.А.</i> Особенности нормирования условий эксплуатации зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах	155
<i>Муравьева Е.А.</i> Способы минимизации взаимного влияния мцк, метрополитена и подземной части проектируемого здания	161
<i>Муравьева Е.А.</i> Применение информационных технологий при освоении подземного пространства	169
<i>Альказас А.Х.</i> Применение методик учета карстообразования при расчете основания здания	176

### **СЕКЦИЯ ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

<i>Андреева А.В.</i> Возможность взрыва негорючих смесей	186
<i>Домбровская В.Е.</i> Тушение пожаров в помещениях с нагретыми предметами	190
<i>Иванов В.И.</i> Вероятностная зависимость взрывной нагрузки от крепления предохранительной конструкции	193
<i>Комиссарова А.А.</i> Зависимость огнестойкости элементов заполнения проемов в противопожарных преградах от их конструктивных характеристик	196
<i>Карасева В.С.</i> Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности в музейных учреждениях	201
<i>Лещёв И.В.</i> Формирование нагрузки до момента полного открытия предохранительных проёмов	204
<i>Лепехова Е.А.</i> Зависимость массового расхода бутена 1 от температуры	207
<i>Михалёва Д.Г.</i> Влияние состава людского потока на размеры путей эвакуации в аэропорту	210
<i>Никитина М.А.</i> Зоны взрывоопасных концентраций при сливных операциях на сливноналивных железнодорожных эстакадах	213
<i>Ускова В.Е.</i> Проблемы моделирования процесса эвакуации людей из зданий аэровокзалов	217
<i>Чикунова А.Д.</i> Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности в общежитиях	220

## СЕКЦИЯ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

<i>Веретенникова А.Э.</i> Применение статистических методов при проверке квалификации путем межлабораторных сравнительных испытаний	224
<i>Владельщикова Д.А.</i> Организация внутреннего контроля качества в испытательной лаборатории	228
<i>Леонова А.С.</i> Систематизация и выбор номенклатуры определяющих показателей качества гидроизоляционных материалов, применяемых в строительстве	231
<i>Липилина К.В.</i> Разработка системы стандартизации процессов в строительной организации в ООО «СТРОЙСЕРВИС»	234
<i>Никифорова Е.С.</i> Разработка системы управления качеством продукции на основе инструментов бережливого производства (ООО «КНАУФ» г. Челябинск)	238
<i>Постаногова П.Ф.</i> Проблемы создания и развития стандартизированного «Умного города»	241
<i>Полякова А. Э.</i> Разработка проекта стандарта организации «контроль качества выполнения отделочных работ»	244
<i>Сулима Д.В.</i> Разработка методики оценки воздействия виброакустических факторов для специальной оценки условий труда в общественных зданиях	248

## СЕКЦИЯ ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ, ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

<i>Богомольский В.Е. Кондратенко А.А.</i> Перспективы развития Арктики путем применения экокупола	253
<i>Федотов Е.Р., Зыкова С.Е.</i> Возможности технологий дополненной и виртуальной реальности в строительстве на этапах строительства и эксплуатации объектов ТЭС и АЭС	260
<i>Евина М.А.</i> Big data: использование в проектировании и строительстве объектов энергетики	265
<i>Бурлуцкая К.Е.</i> Развитие архитектурного облика объектов энергетики как составляющая современной урбанистики	269
<i>Хлебников С.К. Мельникова М.Д.,</i> Методы реабилитации городских водных объектов и их влияние на состояние окружающей среды городов	277
<i>Фасхутдинов Б.Р.</i> Оценка влияния инфраструктуры района строительства на смб, для возведения АЭС в Узбекистане	284
<i>Жарков И.Г.</i> Организация строительства ветропарков в рамках снижения негативного	290

влияния на экологию

<i>Охапкин Д. В.</i> Инновационный подход к оптимизации компоновки электрической подстанции	298
<i>Мионов К. Е.</i> Инновационный подход к оптимизации компоновки главного корпуса ТЭС	307
<i>Кочнев Д.А.</i> Управление сроками строительства с применением технологии информационного моделирования на примере строительства башенной градирни	312
<i>Пугачёва К.С.</i> Оценка потенциала использования нестандартных технологических решений при возведении насосной станции градирни	316
<i>Дмитриев В.С.</i> эффективность использования различных железобетонных конструкций при возведении транспортного портала АЭС	325
<i>Ратиани И.З.</i> Анализ эффективности СМР при строительстве АЭС от используемых систем автоматизированного проектирования, планирования и управления	337
<i>Ромашова Е.И.</i> Перспективные методы утилизации ТБО	342
<i>Чернова Д.Н.</i> Обоснование программы модернизации ТЭС в России и её актуальность	347
<i>Малахов Н.С., Бондарев И.В.</i> Влияние климатических условий района строительства на вспомогательную инфраструктуру при возведении АЭС	354

**СЕКЦИЯ ГИДРАВЛИКИ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**



# ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО БОРЬБЕ С НАВОДНЕНИЯМИ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ТЕРЕК

**Ляхова Е.Ю., Терентьева А.А.**

*студентки 2 курса 1 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Ходзинская А. Г.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Проблемы, связанные с наводнениями в нижнем течении реки Терек известны уже с XVIII в., когда эта территория попала под влияние Российской империи. Сооружаемые для защиты каналы и валы не спасали от наводнений, поэтому, начиная с последней четверти XIX в. местной администрацией и другими ведомствами стали проводиться комплексные исследования Терека.

Особенностью нижнего течения реки Терек является нестабильность уровня Каспийского моря, который, достигнув в 1977 г. самого низкого положения за последние 80 лет – - 29,01 м БС, стал затем повышаться, достигнув максимума в 1995 г. В результате была затоплена часть прибрежных территорий, существенным образом изменились гидравлические условия в дельте, взаимодействие речных и морских вод, транспорт наносов из-за возникшего подпора.

Основным методом исследования данной проблемы является изучение практики предотвращения разливов и наводнений на реках с аналогичными проблемами в своём течении. На основании исследования разработано несколько способов предотвращения наводнений в нижнем течении реки Терек, такие, например, как организация насыпных валов, спрямительных каналов и т.д.

## **Ключевые слова**

**Наводнение** – это значительное затопление водой местности в результате подъема уровня воды в реке, водохранилище, озере или море, вызванное обильным притоком воды в период снеготаяния или ливней, ветровых нагонов воды, а также при заторах, зажорах и иных явлениях.

**Наносы** – твёрдые, преимущественно минеральные или карбонатные, частицы, содержащиеся в водных объектах. Поступают в воду в результате эрозии земной

поверхности водосборных бассейнов и вымывания из русловых и донных грунтов либо как следствие биогенной седиментации.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Полученные данные помогли понять причины, вызывающие катастрофические разливы реки в ее нижнем течении и заболачивание долины, а также разработать меры борьбы с наводнениями. В результате исследований возникли масштабные проекты по преобразованию гидрографической сети, предполагавшие комплексный подход в использовании водных ресурсов Терека и близлежащих рек.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Решения, разработанные в данной статье, основываются на российском и зарубежном опыте борьбы с паводками в течениях таких рек, как Хуанхэ, Кубань, Дунай, Лаура, Тиса, Рейн, По, Висла, рек систем Миссисипи – Миссури, Брахмапутры, Ганга, Иравади; Куры, Риони, Амударьи и Сырдарьи.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Катастрофические наводнения происходили на многих реках земли, переносящих большое количество наносов и протекающих в легкоразмываемых грунтах. Особенно сильными с большим количеством жертв были наводнения в Китае на р. Хуанхэ и Янцзы. Катастрофическим наводнениям в бассейнах этих рек, помимо обильных муссонных дождей, способствуют стеснение русел отлагающимися в них наносами, а также плоский рельеф прилегающих к ним обширных равнин. Такой рельеф является основной причиной длительного скопления воды в понижениях местности. Поэтому жители равнинных районов Китая в течение многих столетий, из поколения в поколение, проводили и проводят до сих пор гигантскую работу по упорядочению стока поверхностных вод. Огромные земельные площади, расположенные в нижнем течении Хуанхэ и Янцзы, изрезаны бесчисленными каналами, вдоль которых тянутся защитные земляные дамбы. Только в южной части дельты Янцзы протяженность каналов превышает 35 тыс. км.

При поднятии уровня моря на 1,20 м повысились и отметки дна и уровня воды в русле на 1,0–1,2 м. Накопление наносов в русле и повышение отметок дна уменьшает на некоторых участках дельты устойчивость русла и его пропускную способность. Соответственно возрастает опасность перелива через бровки русла и низкие части защитных дамб, затопления прилегающих территорий.

В настоящее время уровень моря снова опускается, но не достиг еще отметки максимального понижения, превышая ее на 1 м. Вследствие может меняться и гидравлический режим в русле, должны замедлиться на некоторых участках процессы накопления наносов.

Характеристики водосборного бассейна на участке: дельтовая равнина сложена новейшими аллювиальными отложениями, которые характеризуются малым размером частиц. При низких сопротивлениях к размыву наблюдаются высокие темпы горизонтальных деформаций потока.

Характеристики стока на участке следующие: многолетний расход (Каргалинский г/у) 297 м<sup>3</sup>/с (по данным Дагестанского отделения Росгидрометцентра расходы имеют тренд к увеличению). Максимальный расход воды обеспеченностью 1% – 1650 м<sup>3</sup>/с, 10% – 1150 м<sup>3</sup>/с, максимальный инструментально зафиксированный расход не превосходил 1600 м<sup>3</sup>/с. Средний многолетний сток наносов 19 млн. тонн, при средней мутности свыше 2,5 кг/м<sup>3</sup>.

В 2002 и 2005 гг. в бассейне Терека прошли катастрофические паводки (см. табл.1), вызвавшие затопление обширных территорий в дельте реки и причинившие значительный ущерб природной среде и экономике региона. Во время наводнений в дельте Терека были размыты десятки километров дорог, защитных валов и дамб, разрушены жилые дома, мосты, хозяйственные постройки, выведены из оборота тысячи гектаров сельскохозяйственных земель, заилены рыбоходные и ирригационные каналы.

Если взглянуть на снимки р. Терек из космоса, то причины столь катастрофического наводнения станут очевидны – повсеместное огромное количество наносов. Из-за них поднимается дно, создавая совершенно иную систему, для которой пропуск даже относительно небольшого количества воды представляет сложность.

**Таблица 1.** Сравнительная характеристика паводков 2002 и 2005 гг. в дельте Терека.

Год	Дата начала и конца	Расход воды перед началом паводка (м <sup>3</sup> /с)	Максимальный расход воды на пике паводка (м <sup>3</sup> /с)	Среднесуточный расход воды за период паводка (м <sup>3</sup> /с)	Сток воды за период паводка (км <sup>3</sup> )	Сток взвешенных наносов за период паводка (млн. т)
2002	19.06 – 21.07	514	1530	998	2,89	53,4
2005	26.04 – 22.06	200	1230	634	1,54	13,9

В период паводка 2002 г. наблюдательная сеть ДагЦГМС зафиксировала колоссальный сток наносов (более 50 млн. т). В результате прорыва защитных валов было затоплено более 40 тыс. га сельскохозяйственных земель на левобережье магистрального рукава. После прохождения пика паводка площади затопления не сокращались вплоть до перекрытия основного прорана в октябре 2002 г. и в дальнейшем обширные территории оставались под водой еще несколько месяцев. Сток воды с затопленных территорий дельты происходил в направлении Кизлярского залива и зал. Северный Аграхан по системе естественных и искусственных водотоков практически до наступления зимы. В период паводка 2005 г. пострадали объекты правобережья. Суммарный максимальный водоотбор оросительными системами по проектным показателям достигал  $400 \text{ м}^3/\text{с}$ , в настоящее время по расчетным данным в каналы можно сбрасывать не более  $180 \text{ м}^3/\text{с}$  (однако и этот расход не отбирается в течение прохождения паводочной волны, по причине несогласованности в действиях ведомств). Продолжительность паводочного периода составляет 4 месяца.

В настоящее время основное русло Терека в устьевой области обваловано вплоть до Аграханского залива. Дамбы обвалования, предупреждающие катастрофические затопления прилегающей местности, – основной способ защиты от наводнений на р. Терек.

Вдольбереговые оградительные дамбы (земляные), предназначенные для защиты от наводнений, очень распространены во всем мире. Особенно часто их сооружают в дельтах рек. Обвалованы берега таких рек, как Хуанхэ, Кубань, Дунай, Лаура, Тиса, Рейн, По, Висла, рек систем Миссисипи – Миссури, Брахмапутры, Ганга, Иравади; Куры, Риони, Амударьи и Сырдарьи. Для защиты от наводнений возведены дамбы в городах Хабаровск, Благовещенск, Комсомольск.

С течением времени отложение русловых наносов в русле р. Терек приводило к неуклонному уменьшению водопропускной способности вследствие сокращения площади поперечного сечения потока. Аккумуляционные процессы привели к выходу из строя большинства перепускных сооружений, включая головные сооружения крупных водоотводящих коллекторов (Ждановский-1).

Начиная с 1915 года горизонтальные деформации реки ограничены узкой полосой вдольруслового обвалования. Отложения взвешенных и влекомых наносов происходят только в пределах основного русла и незначительных пойменных емкостей (часть наносов отбирается оросительными системами, но в последние годы они заилены и практически полностью выведены из строя). Условия транзита наносов определяются уровнем Каспийского моря (в последние 10 лет он установился на отметках -26 м). Темпы положительных русловых деформаций в русле достигают (2002 – 2006 гг.)  $+0,15 \text{ см/год}$ .

Снижение водопропускной способности магистрального канала в пределах валов на отдельных участках (250 – 600 ПК) в течение 2004 – 2006 гг. составили 20-40 м<sup>3</sup>/год.

Наиболее интенсивные русловые деформации в последние годы происходят в районе Гудийско-Шавинского разветвления, где идет масштабная перестройка русловой сети (отмирание основного северного рукава, развитие нового русла, пересекающего остров и активная глубинная и боковая эрозия в нижней части южного рукава). В нижней части Шавинского банка сформирован самый проблемный на текущий момент участок нижнего течения, требующий срочных превентивных мер по снижению опасности размыва водооградительного вала (рис.1).



**Рисунок 1** - Левый берег р. Терек ПК731 – прорывоопасный участок

Работы по увеличению водопропускной способности на участке от Кизлярского моста до Шавинского разветвления, будут производиться путем переноса основных защитных валов от русла реки и создания искусственных прорывов в существующей системе обвалования. Эффективность работы дополняется сокращением протяженности эксплуатируемых дамб обвалования (являющихся так же автодорогами), снижением эрозионной нагрузки на валы. Для строительства новых валов предполагается использовать грунт, извлекаемый из прибрежной полосы реки с целью дополнительного увеличения площади поперечного сечения потока в паводок. Железобетонные конструкции, находящиеся на участке реконструкции предполагается по возможности демонтировать и перенести к проектируемым валам. При проектировании организации строительства требуется максимально ограничить воздействие на растительный покров.

При реализации проекта формируется значительная пойменная емкость для пропуска волны паводков. Минимальная пропускная способность на участке от Каргалинского гидроузла до Шавинского разветвления составит около  $1450 \text{ м}^3/\text{с}$  в районе 397 ПК (непосредственно перед разветвлением), что соответствует мгновенному максимальному расходу 2%-ной обеспеченности.

Работы по минимизации негативного воздействия паводковых вод и опасных русловых деформаций в нижнем течении Терека ведутся в соответствии с основными принципами, разработанными и отраженными в утвержденных мероприятиях и целевых показателях. Схемы комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Терек. В целях увеличения водопрпускной способности русла, улучшения условий транзита наносов в море, снижения паводковых расходов в основном русле за счет перераспределения с водоотводящими каналами и пойменным пространством за пределами валов, в качестве основных мероприятий на протяжении последних 10-15 лет применялись следующие:

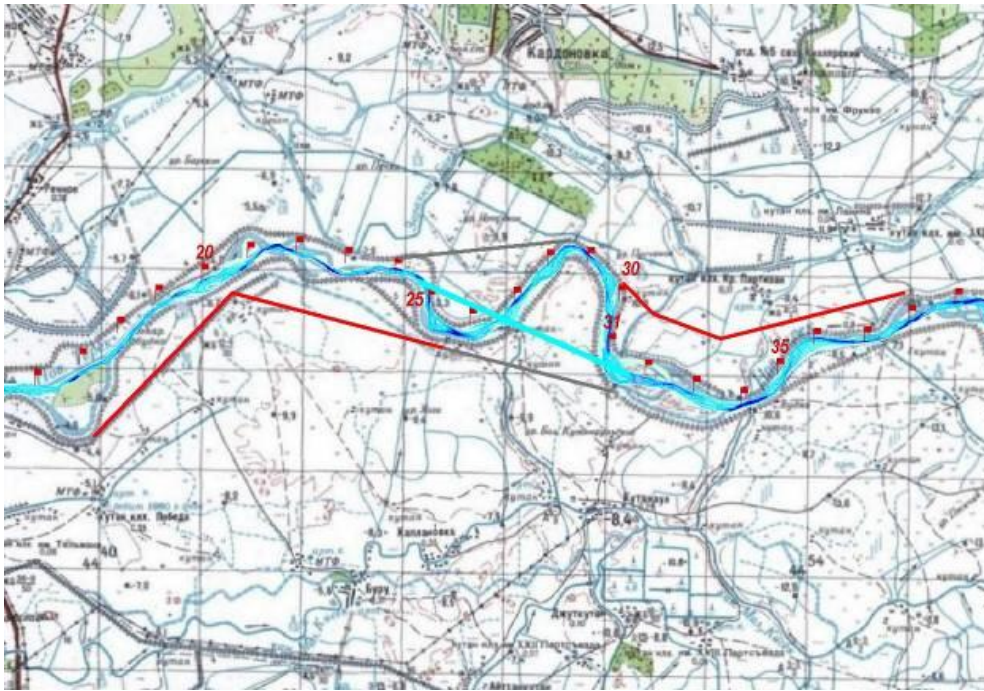
1. Руслоспрямительные работы, направленные на уменьшение общей извилистости русла и повышение его пропускной способности.
2. Капитальный ремонт и строительство новых защитных водоградительных валов и новых берегозащитных сооружений.
3. Расчистка русла и дноуглубительные работы.

В настоящее время по этим направлениям запланировано следующее:

- 1) комплекс руслоспрямительных работ между ПК 580 и ПК 750 длиной 11 км;
- 2) реконструкция и строительство оградительных валов и расширение пойменного пространства на участках от 150 до 370 и от 580 до 780 ПК длиной 8,5 км;
- 3) проведения ряда локальных дноуглубительных работ на участке от Каргалинского гидроузла до Лопатинского моста. Для оценки динамики изменения отметок дна русла необходимо проводить ежегодную съемку дна.

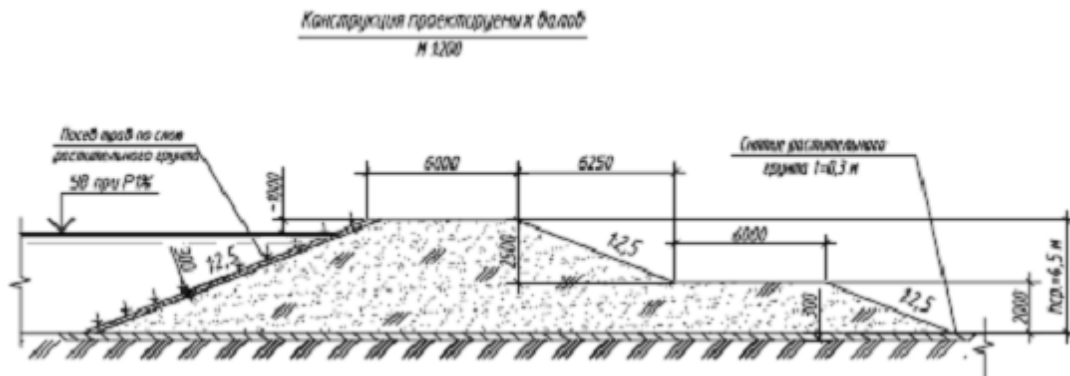


**Рисунок 2** - План трассы канала-спрямления на ПК 722-745

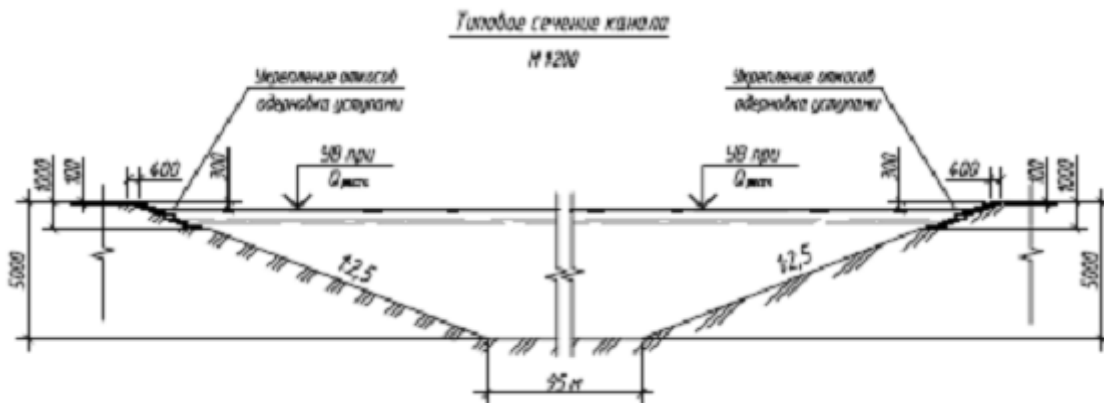


**Рисунок 3** - Карта с указанием дамб обвалования на двух участках (ПК 160-280 левый берег и 300-380 правый берег)

Валы переносятся на 350 – 850 м от современного меженного русла реки Терк, отсекая малоиспользуемые солончаковые или заросшие камышом участки.



**Рисунок 4** - Типовая конструкция дамбы обвалования дополнительным валом на ПК 750



**Рисунок 5** - Типовое сечение канала-спрямления

Практика регулирования русла Терека путем спрямления наиболее извилистых участков (отдельных излучин или целых их серий) широко используется с 60-х годов XX в. Только на протяжении второй половины прошлого столетия ниже Каргалинского гидроузла была уменьшена кривизна русла более чем на 10 участках. В 2004-2005 годы были введены в эксплуатацию два крупных руслоспрямительных канала – на 8-9 и 11-12 км. Чуть позже (в 2010-2011 годы) было реализовано спрямление русла Терека на 68-70 км. Также были разработаны, но на настоящее время находятся в законсервированном состоянии, участки спрямления длиной 2-4 км: 24-31 км и 71-73 км от Каргалинского гидроузла.

Как показала практика, такой подход в большинстве случаев является обоснованным и решает широкий спектр водохозяйственных проблем. В первую очередь в случае грамотной трассировки спрямляющего канала удается снизить эрозионную нагрузку на берегозащитную противопаводковую систему обвалования русла. Перемещаясь в новое русло, поток концентрируется на его расширении и углублении. На пиках паводков деление потока на два русла (старое и новое) сразу снижает темпы размыва берегов, а по мере саморазмыва канала постепенно происходит заиление старого русла и стабилизация эрозионных участков в его пределах.

Строительство канала методом саморазмыва было использовано в частности при сооружении Каракумского канала, где расходы были увеличены более чем в 4 раза при сохранении устойчивости русла. При постепенном наращивании расходов берега подвергаются кольматации и менее подвергаются размыву.

Ввод в эксплуатацию трех последних русловых спрямлений стабилизировал русловую обстановку на эрозионно-опасных участках общей протяженностью более 4 км. При этом сами спрямляющие каналы достаточно долго сохраняют прямолинейные очертания, выполняя свою стабилизирующую функцию. Последнее является отличительной особенностью руслового режима Терека и связано с большим объемом переносимых водным потоком наносов и высокой скоростью смещения форм руслового рельефа.

Спрямление русла благотворно отражается и на снижении паводковой опасности и вероятности перелива ограждающих валов при экстремальных гидрологических событиях. В зависимости от протяженности и кривизны спрямляемого участка локальные уклоны удается увеличить в 1,5-2 раза, следствием чего является увеличение пропускной способности русла и понижение отметок водной поверхности в паводочных условиях.

Таким образом, для нижнего течения Терека следует признать весьма эффективным такой способ управления русловыми и гидрологическими процессами.



Кроме указанных выше (1-3) возможно применение других способов защиты от наводнений:

4. Эффективным мероприятием по снижению рисков от наводнений (особенно при значительном стоке наносов) является строительство водохранилищ. Водоохранилище комплексного использования может аккумулировать сток воды в период паводка (срезая его пики), но дельта р. Терек представляет собой равнину, поэтому устраивать здесь русловое водохранилище не целесообразно. Можно, правда, построить русловые водохранилища на притоках р. Терек в предгорных районах.

Альтернативой может послужить строительство наливного водохранилища, размещаемого на пойменной территории. Минимальная емкость водохранилища должна быть достаточной для приема стока при превышении критических расходов (создающих угрозу безопасности защищаемых объектов). Оценочный расчет показывает, что полезный объем такого водохранилища должен превосходить 40 млн. м<sup>3</sup> (прием среднего расхода 150 м<sup>3</sup>/с в течение 3 суток). При средней глубине 8 м, такое водохранилище должно иметь площадь около 5 км<sup>2</sup>. Наиболее эффективно размещение такого водохранилища на территории Республики Чечня, где земли имеют меньшую сельскохозяйственную ценность.

В работе предлагается решение по борьбе с наводнениями, путём создания на правом берегу реки Терек трёх наливных водохранилищ общим объемом 360,6 млн. км<sup>3</sup>, создать на территории Республики Дагестан на 7, 17 и 36 километрах от Каргалинского гидроузла. Границы водохранилищ устанавливаются в обход населённых пунктов. Водоохранилища обваловываются. В паводки часть стока реки сбрасывается в эти три водохранилища, которые могут погасить во время паводка расходы 1-й % обеспеченности в течение 10 и более суток. Строительство наливного водохранилища будет более эффективным при использовании его вод для орошения.

#### 5. Восстановление заиленных каналов и русловой сети.

Для решения проблемы наводнений в дельте Терек необходимо рассредоточение стока воды в пространстве дельты путем восстановления пропускной способности заиленных оросительных и обводнительных каналов.

6. Мероприятия на водосборе по уменьшению мутности воды (сооружение, перехватывающие наносы емкостей).

Берегоукрепительные и мелиоративные работы предусматривают: сохранение лесного покрова на склонах гор в пределах водосборной площади, посадку леса и другой растительности на склонах; закрепление действующих оврагов и горных склонов, уменьшающее эрозионную деятельность водных потоков: террасирование склонов,

проведение пахоты по склону с горизонтальным расположением борозд, другие агротехнические мероприятия; аккумуляция наносов в днищах балок (верхняя часть балок перегораживается в целях накопления в ней наносов).

7. Вынос объектов хозяйства на другие территории. Эти мероприятия должны быть поддержаны населением и пока не рассматривались.

Была выполнена предварительная оценка некоторых вариантов.

Суммарный ущерб от наводнений 2002-2005 гг. составил более 3,5 млрд. руб.

Рекомендованное строительство трех наливных водохранилищ с общим объемом 360,6 млн. м<sup>3</sup>, при длине дамб обвалований 74 км и средней глубине в них 4,5 м имеет общий объем земляных работ (площадь сечения дамбы около 50 м<sup>2</sup> на 1 п. м) – 3,7 млн. м<sup>3</sup>. В ценах 2021 года это соответствует общей стоимости более 1,85 млрд. руб. (для водохранилища первой очереди объемом 59,3 млн. м<sup>3</sup> длиной дамбы 16,7 км – 0,42 млрд. руб.).

С 2002 по 2005 гг. на преодоление последствий паводков было выделено около 0,5 млрд. руб. (приблизительно 1,15 млрд. руб. в ценах 2021 г.).

При строительстве наливных водохранилищ обязательно потребуются дополнительные расходы на расчистку заиленных после заполнения объемов.

В середине XX века из русел заиленных каналов извлекали в год около 2000 тыс. т отложений наносов, что составляет объем – (при объемном весе отложений, равном 1750 кг/м<sup>3</sup>) 1,14 млн. м<sup>3</sup>, что соответствует объему канала-спрямления длиной 2,3 км.

Объем канала-спрямления на пропуск расхода 500 м<sup>3</sup> /с длиной 1 км составляет около 224 000 м<sup>3</sup>, объем каналов длиной 11 км – 2,46 млрд. м<sup>3</sup>, их стоимость – более 1,23 млрд. руб., длительность строительства более 2 лет при объемах работ середины XX века.

Строительство запланированных валов-ограждений длиной около 8,5 км объемом 2,9 млн. км<sup>3</sup> стоит примерно 1,4 млрд. руб. В сумме со строительством каналов это 2,63 млрд. руб., что вполне сопоставимо со стоимостью трех наливных водохранилищ.

## **ВЫВОДЫ**

В ходе работы разработан ряд методов по борьбе с разливами в нижнем течении реки Терек. В качестве мероприятий по предотвращению русловых деформаций приняты три основных вида работ: руслоспрямительные работы, направленные на уменьшение общей извилистости русла и повышение его пропускной способности, капитальный ремонт и

строительство новых защитных водооградительных валов и новых берегозащитных сооружений, расчистка русла и дноуглубительные работы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Озерова Н.А. К истории изучения р. Терек (последняя четверть XIX – начало XX в.). Вестник Академии наук Чеченской Республики, № 3 (40), 2018 УДК 910.3 DOI: 10.25744/vestnik.2018.40.3.013, стр. 75-85.
2. Горелиц О.В., Землянов И.В. и др. Катастрофический паводок в дельте Терека в июне, июле 2002 г. Метеорология и гидрология 2005, №5 с.62-71.
3. Обоснование проектирования и внедрения мероприятий по снижению паводковой опасности в нижнем течении р. Терек. Проблематика паводковой опасности в пределах Республики Дагестан. Доклад «НТЦ «РегионГидроПроект», 2007, [pandia.ru>text](http://pandia.ru/text).
4. СХЕМА КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАССЕЙНА РЕКИ ТЕРЕК (РОССИЙСКАЯ ЧАСТЬ БАССЕЙНА) Книга 1. Общая характеристика речного бассейна, 2...г.
5. И.А.Г. Сулейманов, Б.И. Сулейманов. Борьба с наводнениями реки Терек на территории Дагестана с помощью наливных водохранилищ Вестник ДТУ Технические науки, №15, 2009, с.
6. Гуруев М.А., Амаева Ш.А. Оценка гарантированного обеспечения залива Южный Аграхан Терской водой Географ. Вестник №1, 2014, с.48-55.
7. Воробьев А.Е., Орцухаева З. Ш., Алфёрова Н. Н. Формирование русловых деформаций в нижнем течении р. Терек. Вестник Оренбургского ГУ 2015, №10, с.337-340.
8. Орцухаева З.Ш., Магомадова Л.И. Система мониторинга наводнений на р. Терек. I Международная научно-практическая конференция, с. 252-260.
9. Курбанчиев Г.С. Проблемы регулирования стока в бассейне реки Терек // Бассейн реки Терек: проблемы регулирования, восстановления и реабилитации водных объектов. Тр. Всероссийской научно-практической конференции / Отв. ред. Э.В. Запороженко. Махачкала-Пятигорск, 2015. С. 13–19.
10. Опыт борьбы с заилением водохранилищ. Обзор, составитель К. А. Юлдашева, Ташкент., 2011 г., 72 с.

# АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ МОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

**Иванченко В.К.**

*студентка магистратуры 2 курса 18 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Колесников Ю.М.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Исследования газовых и нефтяных месторождений, дальнейшая их разработка с целью добычи полезных ископаемых, с растущими потребностями в них, способствуют развитию технологий и процессов осуществления работ на континентальном шельфе. Дано определение понятия «континентальный шельф» с геологической, геофизической и юридической точек зрения. Рассматривается современная характеристика нефтяных и газовых месторождений северных морей Российской Федерации, среди них: Карское, Баренцево, Охотское, Печорское, Восточно-Сибирское и др. Отмечены наиболее богатые с точки зрения ресурсоемкости акватории, на которых ведется разработка месторождений. Проведен анализ технических средств, применяемых при освоении ресурсов континентального шельфа, их конструктивных решений, обобщены проблемы освоения шельфа северных морей. Рассмотрены функционирующие нефтегазодобывающие платформы на шельфе арктических и субарктических морей нашей страны. Базируясь на опыте отечественного проектирования, определены типовые схемы лестойких платформ, применяемых на различных глубинах моря.

**Ключевые слова:** континентальный шельф северных морей, морская нефтегазодобывающая платформа, технические средства, геологические условия, технологии нефтегазодобычи.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Рост промышленного производства в современный период продолжает формировать потребность в увеличении добычи топливно-энергетических ресурсов, постепенно исчерпываемых на суше. Для многих стран, занимающихся нефтедобычей, объем добываемых ресурсов не покрывает потребности в нефтепродуктах. Очевидно, что расширение спектра работ, улучшение технологий, используемых для разведки нефтяных и газовых месторождений, увеличение объемов добычи минеральных ресурсов на шельфе морей и выход на все большие глубины будут способствовать решению указанной

проблемы.

Трудности в освоении ресурсов арктических и субарктических морей связаны с неблагоприятными климатическими и другими условиями, характерными для района расположения месторождений. Это низкие температуры, длительный период ледостава, особенности геологического строения, значительный диапазон глубин и др. Перечисленные условия влияют не только на эксплуатацию морских стационарных платформ (МСП), технологию строительных работ, но и на разведку месторождений. Высокая стоимость проведения разведочных и строительных работ на перспективных площадках также является значимым фактором, способным препятствовать освоению континентального шельфа.

Учитывая климатические, геологические, геоморфологические и другие факторы арктических и субарктических морей, в настоящей работе рассматриваются условия проведения морских буровых работ, типовые конструкции МСП для различных глубин, а также эксплуатируемые на российском шельфе объекты.

Цель работы – дать оценку особенностям проведения работ по освоению морских нефтегазовых месторождений арктических и субарктических морей, а также выполнить анализ применяемых на месторождениях конструктивных типов МСП.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В качестве исходной информации в данной работе были использованы публичные данные о классификации морских нефтегазодобывающих платформ и их конструкциях, о реализованных проектах разработки месторождений нефти и газа в акваториях шельфа арктических и субарктических морей, а также о применяемых на различных глубинах замерзающих морей ледостойких опорах.

Методологической основой для исследования являлись: нормативно-правовая документация в рассматриваемой области [1], учебные пособия [2-5], а также опубликованные научные статьи [6,7,8].

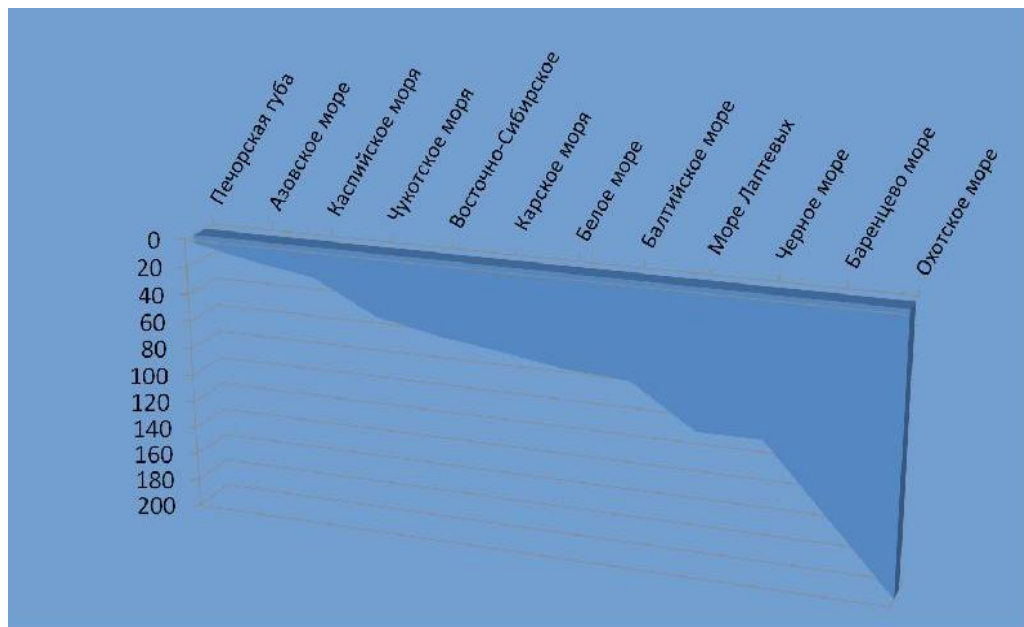
## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

В настоящее время площадь общая нефтегазоносных акваторий достигает порядка 4 млн. км<sup>2</sup>. При этом освоение месторождений ведется только на одной четверти разведанных месторождений [7]. Данный показатель связан в первую очередь с размещением перспективных нефтегазоносных месторождений на шельфе северных морей.

Для рассмотрения климатических условий и геологического строения морского дна были выбраны участки Баренцева и Карского морей и моря Лаптевых. В ходе проведения анализа характерных для данных районов климатических и геологических показателей

отмечено, что наилучшие условия для освоения нефтегазовых месторождений имеются в прибрежных морских участках Баренцева и Карского морей. Это объясняется наиболее высокой на сегодняшний день геологической изученностью, развитостью транспортной инфраструктуры и благоприятными климатическими и ледовыми условиями [6].

Глубины шельфа России приведены на рисунке 1.



**Рисунок 1** – глубины шельфа России

Для рассмотрения понятия «континентальный шельф» стоит обратиться к его геологическому, геофизическому и юридическому толкованиям:

В геологическом смысле шельф – это материковая отмель – выровненная часть подводной окраины материка, которая примыкает к суше (ставшая подводной в результате волнового воздействия).

В геофизическом смысле под континентальным шельфом понимается подводная окраина материка до его резкого обрыва на большие глубины.

Однако юридическое понятие континентального шельфа имеет существенные отличия от геофизического и геологического определений.

В юридическом смысле определение континентального шельфа включает в себя морское дно и недра подводных районов, границы которых простираются на расстояние 200 морских миль от исходных линий [8].

Теперь остановимся на условиях проведения буровых работ разведки и разработки месторождений на северных морях [3,5]. Основными факторами, оказывающими наибольшее влияние на проведение работ, являются естественные факторы, которые определяют порядок проведения работ, конструктивные особенности технических средств, их стоимость, геологические сведения и т.д. К таким факторам можно также отнести степень изученности

гидрометеорологических, геоморфологических и горно-геологических условий.

Благодаря накопленному опыту проектирования, строительства и эксплуатации МСП [1,2,4] отметим, что добыча, хранение, переработка и транспортировка нефти и газа возможна на различных глубинах, с разнообразной климатической, гидрологической, геологической, инженерно-геологической обстановкой.

Освоение морских арктических и субарктических месторождений отличается многовариантным характером, поскольку подбор и применение технических средств для каждого района перспективного строительства уникально. Характерный для таких месторождений суровый климат значительно усложняет проведение работ на континентальном шельфе. Для разработки таких месторождений зачастую требуется использование дополнительной техники специального назначения, необходимой для борьбы с арктическими льдами, такой как ледоколы и специальные танкеры. Конструкция МСП для таких районов должна проектироваться также с учетом еще одной уникальной особенности региона – стамухами – ледяными глыбами, которые пронизывают дно океана на небольших глубинах, способными словно пропарывать подводные коммуникации.

При неконтролируемом перемещении ледовых масс возникает опасность для типовых стационарных платформ, давление льда способно их раздавить. К тому же, лед значительно сокращает время, отведенное для бурения, и существенно затрудняет поиск возможных протечек и их своевременную ликвидацию.

В зависимости от глубины моря используют различные технологии разработки месторождений [2]. Так, для освоения мелководья применяют укрепленные «острова», с которых и ведут бурение. Именно таким способом с давнего времени добывали нефть на шельфе Каспийского моря. Такие конструкции были наиболее подвержены негативному воздействию плавучих льдов и могли быть полностью уничтожены. Также на мелководных зонах акваторий могут применять технологию ограждения некоторого участка дамбами и откачивания воды из возникающего котлована.

При глубинах моря, достигающих 30 м, одно время осуществляли строительство бетонных и металлических эстакад с размещением оборудования на них. Эстакаду соединяли с сушей или выполняли в виде искусственного острова. Взамен такой технологии начали осуществлять бурение наклонных скважин с берега, когда расположение месторождения было в незначительной удаленности от суши. Примером такой технологии может служить разработка месторождения Чайво (расстояние от берега составляет 8-11 км).

С увеличением глубин моря требуется применение наиболее сложных технологий. Так для глубин, достигающих 40 м, используют стационарные платформы, до 80 м – плавучие буровые установки, которые оснащены опорами. На глубинах до 150-200 м ведутся

работы полупогружными платформами, удержание на определенном месте которых осуществляется благодаря якорям или сложной системе динамической стабилизации. На глубинах, превышающих 200 м, осуществляют разработку с использованием буровых судов, которые отличаются высокой маневренностью и скоростью перемещения.

Обладающие сложными условиями северные моря требуют устройства стационарных платформ, удержание которых на дне осуществляется устройством основания необходимой массы. Вверх от основания проходят полые «столбы», в которых можно разместить извлеченную нефть или специальное оборудование. Монтаж такой конструкции происходит в несколько этапов: буксировка конструкции к назначенному месту, ее затопление, последующая надстройка верхней части. Большие современные платформы отличаются способностью передвижения буровых установок на них для обеспечения бурения максимального количества скважин в месте разработки месторождения. В целях борьбы с воздействием морозов, льдов и высоких волн, установку бурового оборудования могут производить прямо на дно.

Опыт освоения месторождений арктических и субарктических морей показывает, что выбор первоочередных месторождений с целью проведения нефтепромысловых работ при сложных ледовых условиях, следует подбирать на небольшом расстоянии от побережья с высокоразвитой инфраструктурой.

Итоговый выбор конструкции арктических и субарктических месторождений должен основываться на опыте освоения и разработки нефтегазовых месторождений континентального шельфа с учетом характерных непростых условий северных морей, сведению к общему естественных условий мест реализованного строительства, перспективных вариантов конструкции платформы. Типовые схемы ледостойких платформ, применяемых на различных глубинах моря, показаны в таблице 1.

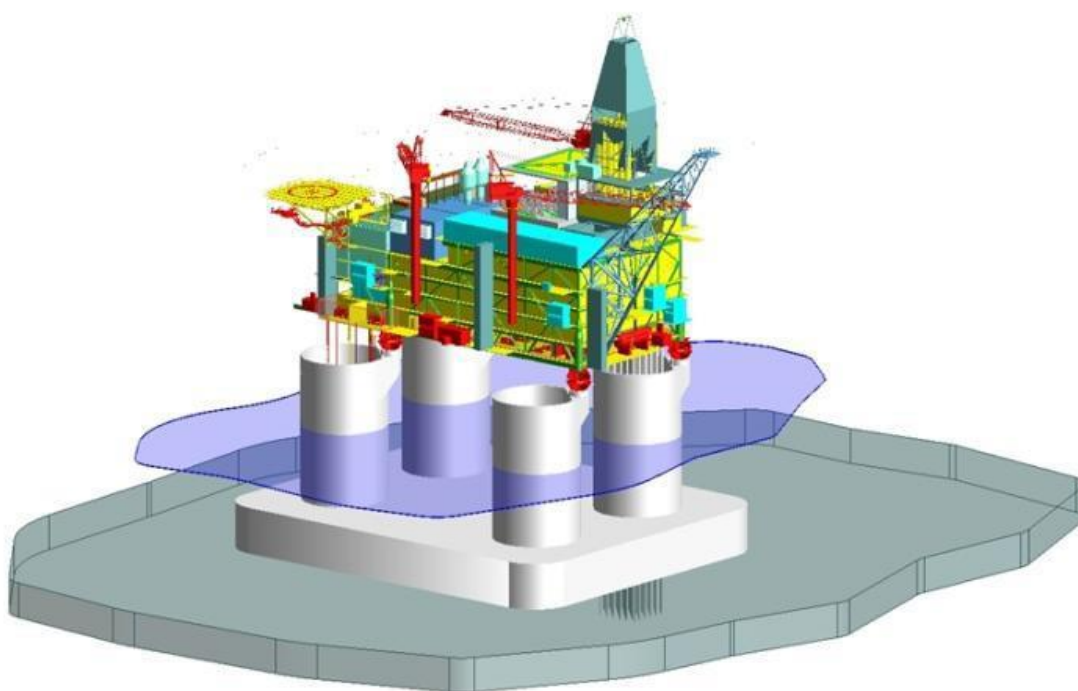
В ходе проведения анализа существующих платформ (Пильтун-Астохская А, Пильтун-Астохская Б, Беркут, Лунская-А на месторождениях Охотского моря, Приразломная на месторождении Печорского моря, МЛСП на месторождении им. Юрия Корчагина Каспийского моря и МЛСП Д-6 в Балтийском море) были выделены основные конструктивные особенности строения платформ, глубины моря в местах установки платформ, удаленность от разных инфраструктур, применяемые способы отгрузки нефти и газа, а также масса отгружаемых нефти и газа. Строения платформы «Беркут» и платформы «Приразломная» приведены на рисунках 2 и 3. Результаты проведенного анализа отражены в таблице 2.



**Таблица 1.** Размещение опор различных типов в зависимости от глубины моря.

Показатели материалоемкости конструкций

	Глубина моря, м						
	<10	10-20	20-40	40-60	60-100	>100	>100
	Тип конструкции						
	Грунтовой остров откосного типа	Остров с металлическим (железобетонным) кессоном	Платформа башенного типа	Платформа башенного типа	Платформа в виде колонно-оболочек с общей плитой основания	Плавающая платформа с оттяжками	Платформа башенного типа с плавучей ледозерной частью на оттяжках
Материалоемкость							
Грунт, 1000 м <sup>3</sup>	300	2000	100	100	100	100	100
Сталь, 1000 т	-	5÷8 (6)	10÷25 (6÷7)	25÷40 (7÷17)	35÷75 (15÷35)	40	60
Бетон, 1000 м <sup>3</sup>	-	3 (20÷30)	3 (30÷40)	4 (40÷60)	5 (60÷120)	30	30



**Рисунок 2** – Строение платформы «Беркут»



**Рисунок 3** – Строение платформы «Приразломная»

**Таблица 2** – Основные данные МСП

№	Название платформы	Вид конструкции	Месторождение	Море	Глубина	Удаленность от различных инфраструктур
1	Беркут	МСП состоит из 2 частей: основание гравитационного типа (ОГТ) и верхнее строение. Основание выполнено в виде прямоугольного бетонного кессона, с установленными на нем четырьмя колоннами под верхнее строение	Аркутун-Даги	Охотское	30-40 м	Около 25 км от берега, на северо-востоке о. Сахалин
2	Пильтун-Астоханская-А (ПА-А моликпак)	МСП выполнена в виде кессона, центральная часть которого заполнена песком, обеспечивающим	Пильтун-Астохское	Охотское	30 м	Около 16 км от побережья

		эффективное закрепление платформы на морском дне.				
3	Пильтун-Астоханская-Б (ПА-Б)	МСП с железобетонным основанием гравитационного типа с четырьмя опорами, на которых располагается верхнее строения платформы с технологическим оборудованием и сооружениями	Пильтун-Астоханское	Охотское	32 м	Около 12 км от побережья о. Сахалин
4	Лунская-А (ЛУН-А)	Основание МСП гравитационного типа с четырьмя опорами, выполнено из железобетона, на опорах располагаются верхние строения платформы с технологическим оборудованием и сооружениями	Лунское газовое месторождение	Охотское	48 м	В 15 километрах от побережья о. Сахалин
5	МЛСП «Приразломная»	Опорный блок МСП выполнен в виде стального кессона, к днищу которого прикреплены юбки из гофрированной стали. Благодаря наклонной поверхности бортов происходит разрушение льда при его продвижении вверх по бортам.	Месторождение «Приразломное»	Печорское	До 20 м	Расположена на шельфе Печерского моря, в 60 км от берега (пос. Варандей).
6	МЛСП (ЛСП -1 и ЛСП - 2))	Бурение осуществляется с МЛСП. Состав платформы: производственный (ЛСП -1) и жилой (ЛСП -2) модули	Им. Юрия Корчагина	Каспийское	11-13 м	В 180 километрах от Астрахани и в 240 километрах от Махачкалы
7	МЛСП Д-6	МЛСП состоит из двух опорных блоков: существующего (ОБ-1) и нового (ОБ-2). ОБ-1 выполнен в виде пространственной решетчатой конструкции пирамидального типа.	«Кравцовское» (Д-6)	Балтийское	25-38 м	В 22,5 км от берега Куршской косы.

		Опорный блок опирается на морское дно, крепление выполнено системой свай, которые передают нагрузку на грунт				
--	--	--	--	--	--	--

## ВЫВОДЫ

Для разработки шельфовых месторождений арктических и замерзающих морей практикуют применение гравитационных, ледостойких платформ с основанием кессонного типа. По конструктивному исполнению такие платформы подразделяются на гравитационные платформы кессонного типа в виде искусственных островов в сталебетонном исполнении и на платформы гравитационного типа в виде железобетонных конструкций, имеющих в своем составе основание в виде кессона и опорный блок из колонн оболочек. Искусственными островами представлены платформы «Орлан» месторождение «Чайво» в Охотском море, Пильтун – Астохская – А (ПА – А) (Моликпак) месторождение «Пильтун – Астохское» в Охотском море, МЛСП «Приразломная» - месторождение «Приразломное» в Печорском море. Остальные - железобетонные гравитационные платформы.

Имеет место использование гравитационных платформ в виде металлических пространственных конструкций, закрепленных на дне с помощью свай и разделенных на два блока (добычный и жилой) - ледостойкие платформы ЛСП - 1 и ЛСП – 2 в Каспийском море и МСЛП Д-6 в Балтийском море.

При этом в основном многие МСП эксплуатируются на глубинах до 30 м, а незначительная часть их них на средних и больших глубинах (зарубежный опыт).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 369.1325800.2017 Платформы морские стационарные
2. Носков Б.Д., Правдивец Ю.П. Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа. Часть III. Сооружения континентального шельфа. - 2-е изд. - М.: АСВ, 2004. - 280 с.
3. Скрышник С.Г. Техника для бурения нефтяных и газовых скважин на море. - М.: Недра, 1989. - 310 с.
4. Симаков Г.В., Шхинек К.Н., Смелов В.А. и др. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе. - Л.: Судостроение, 1989. - 328 с.
5. Борисов Р.В., Макаров В.В., Макаров В.Г. и др. Морские инженерные сооружения.

Часть 1. Морские буровые установки. - СПб.: Судостроение, 2003. - 535 с.

6. Афанасенков А.П. Сенин Б.В. Леончик М.И. Перспективы нефтегазоносности российского континентального шельфа // Neftegaz.RU. - 2013. - №6. - С. 18-23.

7. Керимов В.Ю. Осипов А.В. К глубоким горизонтам. Нефтегазоносность больших глубин и перспективные направления геологоразведочных работ на нефть и газ в глубоководных горизонтах на территории РФ // Neftegaz.RU. - 2016. - №10. - С. 67-73.

8. Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву. Ратифицирована Федеральным законом РФ от 26.02.1997 г. № 30-ФЗ.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНЕНИЯ НА АКВАТОРИЯХ МОРСКИХ ПОРТОВ, ЗАЩИЩЕННЫХ ОГРАДИТЕЛЬНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ

**Кулинкин Я.Д.**

*студентка магистратуры 2 курса 18 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Пиляев С. И.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Оценка волнового режима на защищенных акваториях портов, необходима при компоновке плана порта, и особенно при выборе планового расположения оградительных сооружений. Приводятся предложения по определению параметров волн на огражденной акватории, рекомендации нормативных документов. Отмечается, что для определения волнового режима на акваториях портов при различном направлении и параметрах исходных волн с учетом дифракции, рефракции и отражения волн проводят лабораторные исследования на моделях. Определяющим фактором при оценке волнового режима на акваториях портов является дифракция волн оградительными сооружениями. Излагаются результаты экспериментальных исследований. Подробно излагаются вопросы моделирования волнения на защищенных портовых акваториях.

**Ключевые слова:** Волновой режим, акватория порта, оградительные сооружения, экспериментальные исследования, критерии подобия.

## **ВВЕДЕНИЕ**

**Морской транспорт** является неотъемлемой частью мировой транспортной системы. Суда перевозят большую часть сырой нефти, нефтепродуктов, сжиженного газа, осуществляют контейнерные перевозки. Для обеспечения нормальных условий погрузо-разгрузочных операций и безопасных условий стоянки судов на акватории порта и у причальных сооружений необходимо обеспечить защищенность портовой акватории от волн, что несомненно приведет к сокращению времени простоя судов. Допустимым волнением на акватории порта считается такое, от которого не возникает больших волновых нагрузок на суда, причалы и берегозащитные сооружения.

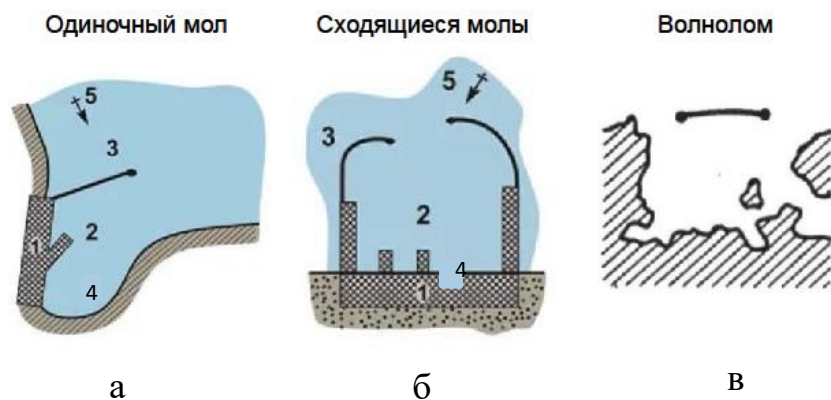
Волна, проникающая на огражденную территорию через ворота порта, подвергается ряду изменений. Прежде всего, происходит дифракция волн при входе в порт, т.к. волна,

огибая в плане всякое препятствие, имеет свойство разворачиваться и менять свое направление, что приводит к уменьшению волновой удельной энергии и соответственно к уменьшению высоты волн на огражденной акватории ( $E \propto h^2$ ). Помимо дифракции на волновой режим в порту при изменяющихся глубинах влияет и рефракция волн, также вызывающая их поворот и уменьшение энергии. Кроме того, волна затухает и потому, что происходит гашение ее энергии в результате трения на границах водной среды (у дна, у стенок оградительных и причальных сооружений и т.п.). Наконец, весьма значительное влияние на режим в порту оказывает отражение волн от сооружений и берегов. Отраженные волны, двигаясь навстречу подходящим волнам, интерферируют с ними и создают сложную картину, которую обычно называют толчеей.

Для определения волнового режима в порту с учетом дифракции, рефракции и отражения волн прибегают обычно к исследованию акватории порта на математической или пространственной гидравлической модели. Обзор и анализ имеющихся работ в этом направлении показывает, что предложенные теоретические решения задач дифракции, при всей их внешней стройности изложения, использовать для практических целей пока не представляется возможным, так как точность вычислений по ним недостаточна. Это объясняется тем, что дифракция волн жидкости является более сложным явлением, чем дифракция световых, звуковых и электромагнитных волн, аналогию с которой используют многие авторы [1-5].

В настоящее время основные нормативные требования к расчетам волнения на акватории порта, защищенного оградительными сооружениями, отражены в действующем СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов), что представляет собой актуализированную редакцию СНиП 2.06.04-82\* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) [2].

Для предварительной оценки защищенности акватории порта используются указанные рекомендации, которые позволяют оценить волновой режим на акватории, защищенной одиночным молотом, сходящимися молами и волноломом (см.рис.1).



**Рисунок 1** - Общий вид оградительных сооружений: а) одиночный мол, б) сходящиеся молы в) волнолом. 1- порт, 2-причал, 3-оградительные сооружения, 4- направление господствующего ветра.

В НИУ МГСУ на протяжении многих лет проводились экспериментальные исследования волнения на защищенных акваториях. Проведенный анализ причин возможных отклонений полученных результатов расчетным и экспериментальным путем, свидетельствует о несовершенстве существующих методов расчета, в основу которых заложен ряд допущений. В связи, с вышеизложенным следует отметить, что окончательное решение о степени защищенности акваторий портов от волн необходимо принимать после проведения модельных исследований или численного моделирования.

Экспериментальные исследования волнения на акватории порта, защищенного оградительными сооружениями (одиночным молем, сходящимися молами и волноломом) проводились в МГСУ в волновом бассейне на жесткой неразмываемой модели. Модель изготавливали из цементного раствора, уложенного по спрофилированному основанию из песка. Профилирование песчаного основания модели производили по поперечникам, устанавливаемым через 0,5 + 1,2 м, в зависимости от сложности рельефа вдоль всей модели. Проверку правильности установки поперечников производили с помощью нивелира. Затем песок разравнивали, утрамбовывали, производили повторную нивелировку, после чего укладывали цементный раствор. Волнение на акватории возбуждалось передвижным механическим волнопродуктором типа "качающегося щита".

Изменение высоты и периода исходной волны достигают регулированием соответственно амплитуды и частоты колебаний щита. Предварительно проводили методические опыты, по которым подбирали и фиксировали расчетный волновой режим, подбирали необходимую чувствительность волнографов. Градуировка емкостного волнографа осуществлялась путем измерения отклонения луча гальванометра на шкале осциллографа при соответствующем погружении стержня в водную среду.



Волны на акватории измерялись в строго фиксированных точках. Для этого на модели наносили координатную сетку с определенными размерами, которые пропорциональны размерам в натуре. Затем возбуждалось волнение и через 20 колебаний щита волнопродуктора (время, необходимое для формирования на акватории установившегося волнового режима) происходила регистрация волновых колебаний. Регистрация волнения продолжалась в течение 12-15 волновых периодов, после чего волнографовы переставляли в следующие пункты измерений и продолжали опыт в той же последовательности.

Для уменьшения степени влияния случайных факторов и получения надежных значений всех измеряемых величин каждый опыт повторялся дважды.

При физическом моделировании волновых процессов на портовых акваториях особое внимание следует уделять вопросам динамического подобия, с целью получения достоверных и надежных результатов.

Подобие гидродинамических явлений в общем случае требует одновременного соблюдения четырех критериев подобия, что в полной мере учитывается и при моделировании волновых процессов, как на плоских, так и на пространственных моделях [4, 5,6,7].

Критерий гомохронности ( $H_o$ ), Струхаля ( $Sh$ ):

$$H_o = Sh = \frac{v \cdot t}{l}, \text{ характеризует инерционные силы, возникающие при}$$

неустановившемся движении жидкости, в частности и при волновом движении. В условиях стационарных (установившихся) течений критерий  $Sh=0$ .

Критерий Фруда:

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot l}, \text{ характеризует действие сил тяжести (объемных или массовых) точнее,}$$

характеризует отношение сил инерции к силам тяжести.

Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu}, \text{ характеризует действие сил вязкости (внутреннего трения), или}$$

отношение силы инерции к силе вязкости.

Критерий Эйлера:

$$E_u = \frac{P}{\rho \cdot v^2}, \text{ характеризует силы давления в жидкости, или отношение силы}$$

давления к силе инерции.

## ВЫВОДЫ

При моделировании волновых процессов на акваториях портов основными действующими силами являются силы тяжести и инерции. В связи с этим моделирование должно производиться по критерию Фруда ( $Fr$ ). Критерий Струхала ( $Sh$ ) в этом случае будет выполняться автоматически.

Масштаб моделирования выбирается таким, чтобы значения критерия Рейнольдса ( $Re$ ) находились в так называемой зоне автомодельности этого неглавного критерия. На основании многочисленных исследований [4, 5,6,7].

установлено, что нижняя граница автомодельной зоны для пространственных моделей определяется числом  $Re_{don} \geq 2000$ .

Метод численного моделирования предполагает формулирование краевой задачи математической физики и разработку численного решения этой задачи. Этот метод активно развивается в последнее время и используется для решения задач по определению волновых нагрузок и воздействий на портовые гидротехнические сооружения.

Для решения задач дифракции волн оградительными портовыми сооружениями в МГСУ последние годы используется программа ARTEMIS. Эта программа представляет собой программный код открытого доступа, основанный на гидродинамических уравнениях пологих склонов. К достоинствам модели можно отнести реализованное удобство изменения граничных условий вдоль сложных границ (задание различных коэффициентов отражения), что позволяет учесть конструктивные особенности моделируемых оградительных сооружений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крылов Ю.М., Стрекалов С.С., Цеплухин В.Ф. Ветровые волны и их воздействие на сооружения. – Л.: Гидрометеиздат, 1976.
2. СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) М.: Минрегион России, 2012
3. Пиляев С.И. Вопросы методики лабораторных волновых исследований на акваториях портов, защищенных оградительными сооружениями. Гидротехническое строительство 2019. № 11.
4. Пиляев С.И. Особенности моделирования волновых процессов на акваториях портов. Н/т журнал Вестник МГСУ, выпуск № 4 т. 2 2011г.

5. Кантаржи И.Г., Мордвинцев К.П. Численное и физическое моделирование в МГСУ морских портовых гидротехнических сооружений. Наука и безопасность. 2015. № 2 (15).
6. Кантаржи И.Г., Шунько Н.В. Численное и физическое моделирование портовых гидротехнических сооружений. Сборник материалов Международной научной конференции. Интеграция и инновации в строительной науке и образовании. 2015.
7. Иншакова Л.А., Красильников Н.И. Моделирование разрушения волн в жидкости. [LAP LAMBERT Academic Publishing](#), 2013

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОФИЛЯ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ В УСЛОВИЯХ СЛАБОГО ОСНОВАНИЯ И ВЫСОКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

**Ступивцев А.В.**

*Студент 6 курса 12 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Толстикова В. В.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

В статье представлен пример оптимизации профиля бетонной гравитационной плотины проектируемого Муллалакского гидроузла на р. Пскем. Особенность данного проекта заключается в совокупности негативных факторов – слабое основание и высокая сейсмичность района строительства, что приводит к массивному профилю. Оптимизация производится по трём геометрическим параметрам плотины – заложение верховой грани, заложение низовой грани и высота точки перегиба верховой грани. Оптимальный вариант определяется из условий допустимых коэффициентов устойчивости при основном и особом сочетаниях нагрузок, и прочности в основании плотины при наименьшем объёме профиля. По результатам расчётов определён оптимальный профиль плотины, обеспечивающий прочность и устойчивость при основном и особом сочетаниях нагрузок.

**Ключевые слова:** бетонная гравитационная плотина, Муллалакская ГЭС, оптимизация

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время бетонные гравитационные плотины получили широкое распространение в гидротехническом строительстве по всему миру. Гравитационные плотины являются наиболее простыми по конструкции, что упрощает применение поточных технологий укладки бетона и в то же время являются наиболее надёжными водоподпорными сооружениями [1].

При всех преимуществах бетонной гравитационной плотины она требует большого количества бетона в своём теле. Для рационального использования инвестиционных средств, вложенных в строительство гидроузла с такой плотиной, перед инженерами ставится задача оптимизация геометрических параметров поперечного профиля бетонной гравитационной плотины [2], пример одной из таких оптимизаций будет рассмотрен в статье.

Выбор места (створа) для строительства гидроузла обосновывается рядом факторов, таких как возможность сбыта вырабатываемой электроэнергии, экологическое и общественное влияние будущего сооружения, регулирование стока реки и т.д. Но возможность строительства тяжёлого сооружения зачастую зависит от характеристик основания и сейсмичности района строительства. Ранее при поиске мест для строительства гидроузлов старались избегать районов с высокой сейсмичностью и плохим основанием, так как строительство плотин в таких створах требовало повышенных капиталовложений на мероприятия, повышающие прочность и устойчивость сооружения. В настоящих условиях, когда большинство наиболее пригодных для строительства створов занято гидроузлами, встал вопрос проектирования в районе с повышенной сейсмической активностью и на слабом основании.

В статье будет рассмотрен проектируемый Муллалакский гидроузел на реке Пскем, в Узбекистане. Оптимизируемое сооружение – глухая бетонная гравитационная плотина.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходные данные к проектированию:

- Отметка НПУ 978,00 м; Отметка подошвы плотины 892,00 м; Отметка гребня плотины 982,00 м.
- Характеристики скала-основание  $c = 0,05\text{МПа}$ ;  $tg\varphi = 0,7$ ;
- Расчётная сейсмичность – 9 баллов.

В первом приближении, учитывая слабое основание и высокую сейсмичность, принимается максимальное, рекомендуемое нормативами, заложение низовой грани 1:1. Заложение верховой грани принимается вертикальным.

Оптимальным вариантом конструкции плотины будет являться наиболее дешёвый вариант, отвечающий всем техническим требованиям. В процессе оптимизации определяется профиль с минимальным объёмом бетона тела плотины, а технические требования – устойчивость и напряжённо-деформированное состояние в контакте и основании.

Задачи оптимизации:

- Рассмотреть различные возможные профили гравитационной плотины;
- Выполнить расчёты несущей способности плотины, изменяя геометрию профиля плотины;
- Сделать выводы на основании расчёта оптимизации.

Границы варьирования параметров профиля плотины:

- Заложение нижней грани от 0,75 до 1;
- Заложение верхней грани от 0,05 до 0,4;
- Расстояние от основания до точки перегиба верхней грани от 25 до 40м.

На основании задачи оптимизации и принятой матрицы варьирования, где +1 и -1 – переведённые натуральные переменные границы нормирования в безразмерные, линейно-нормированные. В соответствии с составленной матрицей планирования строятся варианты профилей варьирования, результат построения приведён на рис.1.

Ограничения задаются из условий устойчивости бетонной плотины на скальном основании. Для обеспечения устойчивости должно выполняться условие (1)

$$K_s = \frac{N * tg\varphi + c * F}{E} \geq K_{s,i}, \quad (1)$$

где  $K_s$  – коэффициент устойчивости на плоский сдвиг;  $K_{s,i}$  – минимальный допустимый коэффициент устойчивости, определяемый по формуле (2) для основного и особого сочетаний нагрузок.

$N$  – сумма вертикальных сил;  $E$  – сумма горизонтальных сил;

$F$  – площадь сечения подошвы 1пог.м;

$c$  и  $tg\varphi$  – характеристики скала-основание,  $c = 0,05$ МПа,  $tg\varphi = 0,7$ .

$$K_{s,i} = \frac{\gamma_{n,i}}{\gamma_c} \gamma_{lc} \quad (2)$$

где  $\gamma_{n,i}$  – коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый для основного и особого сочетаний нагрузок равным  $\gamma_{n,осн} = 1$ ,  $\gamma_{n,особ} = 0,9$ ;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый  $\gamma_c = 0,95$ ;

$\gamma_{lc}$  – коэффициент надёжности по назначению сооружения, принимаемый  $\gamma_{lc} = 1,25$ .

$$K_{s,н} = \frac{1}{0,95} 1,25 = 1,32; \quad K_{s,н,сейсм} = \frac{0,9}{0,95} 1,25 = 1,184.$$

Для каждого из вариантов варьирования определяются:

- Объём погонного метра бетонной плотины  $V$ ;
- Коэффициент устойчивости при основном сочетании  $K_s$ ;
- Коэффициент устойчивости при особом сочетании нагрузок  $K_{s,сейсм}$ ;
- НДС в контактном сечении плотины  $\sigma_y$ .

Расчёт производится в программном комплексе Mathcad Prime [3]. Расчётная схема для задания параметров в программном комплексе приведена на рис.2. Результат расчёта по всем варьируемым профилям приведён в табл.1.

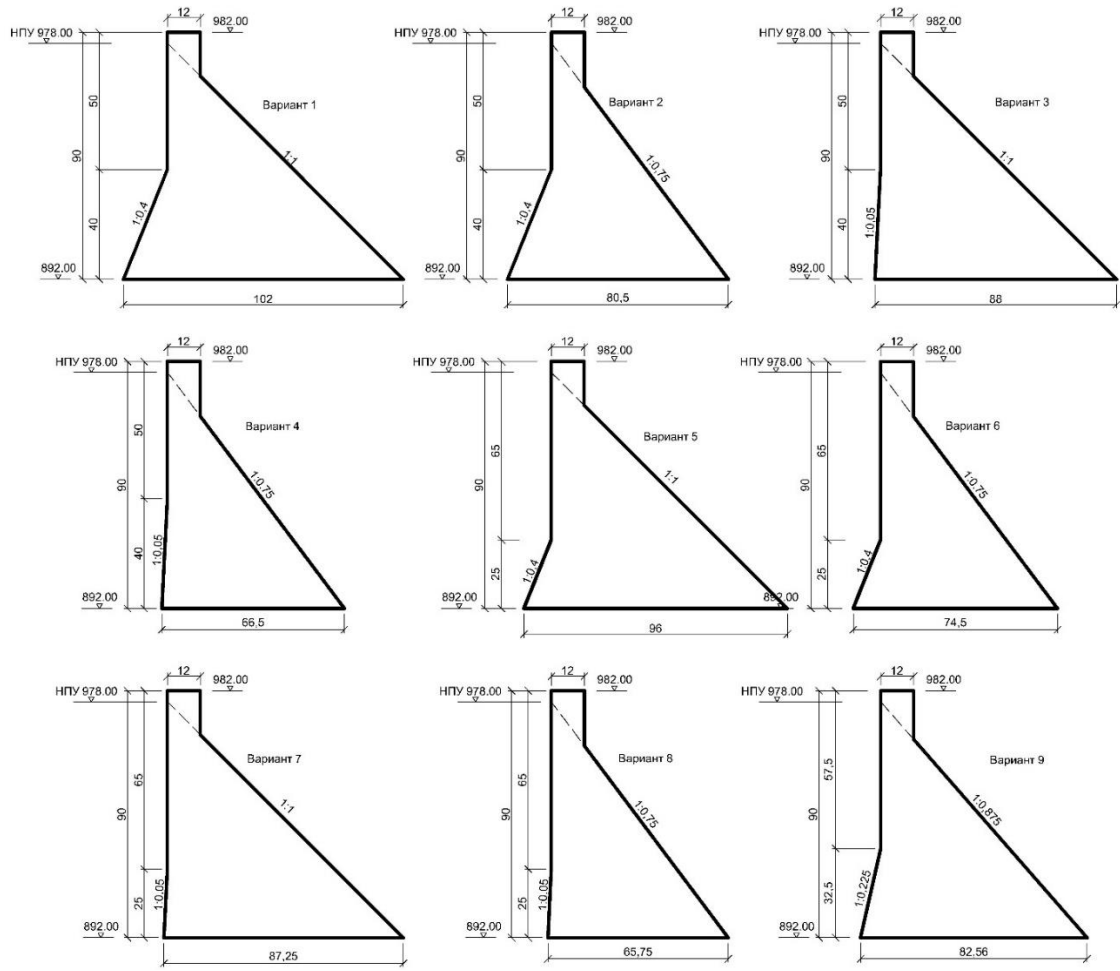


Рисунок 1 – Варианты варьирования профиля бетонной плотины

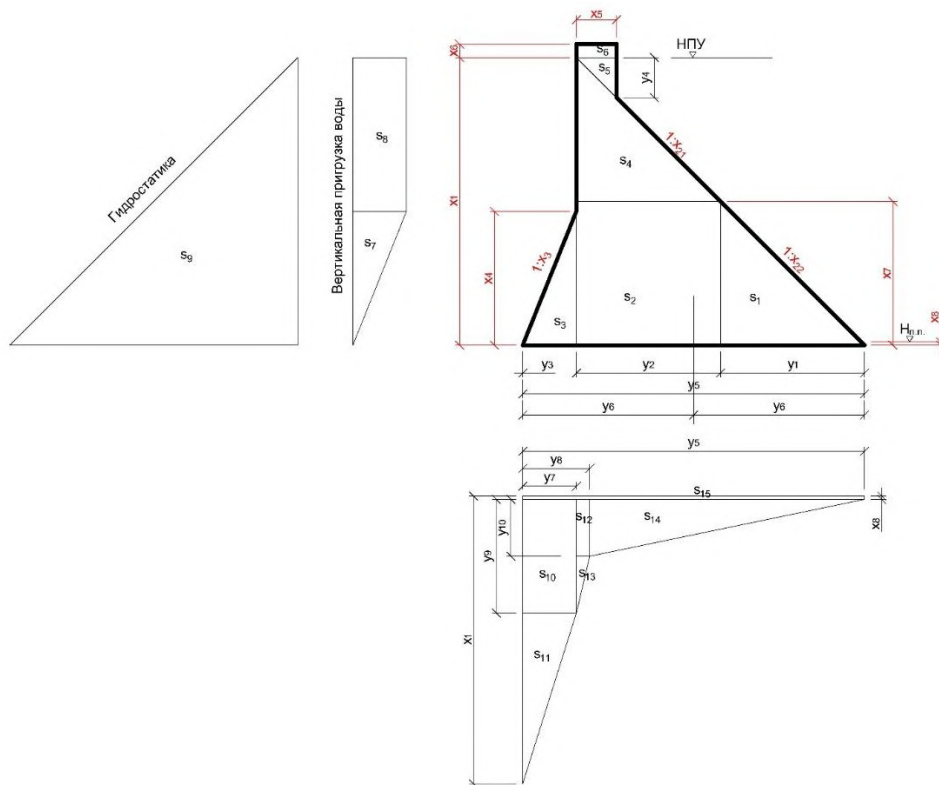


Рисунок 2 – расчётная схема для задания параметров в Mathcad Prime

Таблица 1. Полученные в Mathcad Prime характеристики варьируемых профилей плотины

№ профиля	$k_s$	$k_{s,сейсм}$	$V, м^3$	$\sigma_{осн}, МПа$
1	1.906	1.232	4138	-0.44
2	1.508	1.060	3196	-0.01
3	1.627	1.077	3858	-0.49
4	1.238	0.893	2916	0.12
5	1.767	1.161	3943	-0.42
6	1.369	0.980	3001	0.08
7	1.608	1.067	3834	-0.48
8	1.219	0.882	2891	0.14
9	1.528	1.048	3466	-0.24

Для решения задачи оптимизации выполняется полнофакторный численный эксперимент [2]. Коэффициенты полинома (3), отражающие влияние варьируемых факторов на отклики определяются по зависимости

$$b_i = \sum_{j=1}^n (y_i x_{ij}) / N, \quad (3)$$

где  $i = 0, 1, 2 \dots, 8$  – индекс коэф. полинома;  $x_{ij}$  – линейно-нормированные параметры (факторы);  $j$  – номер элемента в столбце;  $y_i$  – натуральные параметры.

Расчёт коэффициентов полинома производится в табличной форме. Результат расчёта приведён в табл.2.

Таблица 2. Расчёт коэффициентов полинома

Коэффициент полинома	$k_s$	$k_{s,сейсм}$	$V, м^3$	$\sigma_{осн}, МПа$
b0	1.530	1.044	3472	-0.19
b1	0.197	0.090	471	-0.27
b2	0.107	0.064	97	-0.01
b3	0.039	0.021	55	-0.02
b12	0.002	-0.002	0	0.04
b13	0.000	-0.001	0	0.01
b23	0.030	0.016	43	-0.01
b123	0.000	-0.001	0	0.01



Задание функции отклика для каждого из факторов варьирования производится по (4) [4].

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{1n}x_1x_n + \dots + b_{n-1,n}x_{n-1}x_n + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (4)$$

Расчёт производится в программном комплексе Mathcad Prime с применением функции «Minimize» [4], определяющей минимальное значение среди параметров варьирования с учётом заданных ограничений:  $K_{с.н} \geq 1,32$ ;  $K_{с.н.сейсм} \geq 1,184$ ;  $\sigma_{осн} \leq -0,01$  МПа.

По результатам расчётов получены оптимальные нормированные параметры плотины:

$$R_i = \begin{cases} 1 \\ 0,62 \\ 1 \end{cases}$$

Полученные нормированные значения переводятся в натуральные геометрические параметры плотины по (5) – (7)

$$\Delta_i = \frac{|x_{imax} - x_{imin}|}{2}; \quad (5)$$

$$x_{0i} = \frac{|x_{imax} - x_{imin}|}{2}; \quad (6)$$

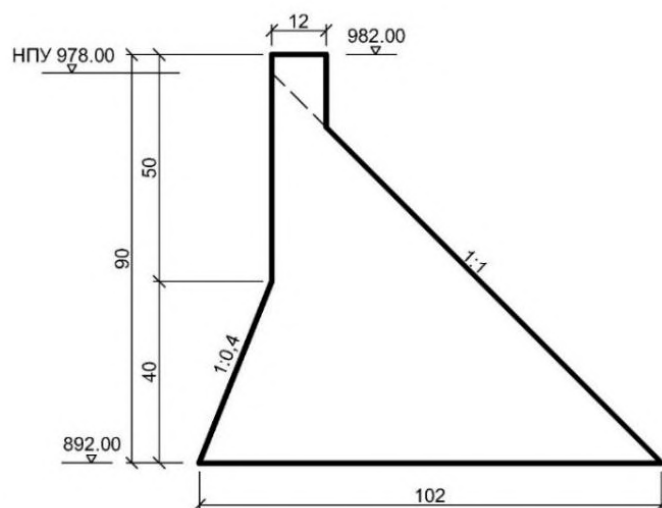
$$x_i = R_i * \Delta_i + x_{0i}, \quad (7)$$

По результатам расчётов получены значения оптимизированных параметров, представлены в табл.3 и соответствующий оптимальный профиль рис.3

**Таблица 3.** Оптимальные параметры профиля бетонной гравитационной плотины

Параметр	Значение
Заложение верховой грани	1
Заложение низовой грани	0,33≈0,4
Высота от подошвы до точки перегиба верховой грани, м	40

Оценка работоспособности вариантов конструкции плотины производилась на основе численного моделирования напряжённо-деформированного состояния (НДС) при статических и сейсмических нагрузках.



**Рисунок 3** – Принятый на основе расчётов оптимизации профиль глухой части бетонной гравитационной плотины

Численное моделирование выполнялось методом конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе «CRACK» [5]. Расчёты проводились в плоской постановке. Особенностью используемой программы является возможность учитывать отдельные крупные нарушения сплошности расчетной области (контакты, трещины, разломы, швы и т.д.) в явном виде, используя в расчетной схеме модифицированный контакт-элемент.

Нелинейная модель контактного взаимодействия (физическая модель) позволяет учитывать раскрытие и закрытие контакта, и упругопластическую работу контакта при сдвиге (с учетом возможного разупрочнения, используя модель Кулона-Мора).

Расчеты выполнялись на действие основных статических (собственного веса сооружения, гидростатического давления с верхнего и нижнего бьефов, фильтрационного и взвешивающего давлений на подошву плотины), принимаемых для бетонной плотины первого класса и сейсмической нагрузки в рамках линейной спектральной методики.

Свойства материалов, используемых при проведении расчетов, приведены в табл.4.

**Таблица 4.** Характеристики материала плотины и основания

Модуль упругости E (МПа)	Коэффициент Пуассона $\nu$	Предел прочности на сжатие, Rсж (МПа)	Предел прочности на растяжение Rр (МПа)	Объёмный вес, (т/м <sup>3</sup> )
Бетон плотины 25000	0.18	8,5	0.75	2.4
Основание 5000	0.28	5,0	0.05	-

Расчет сейсмической нагрузки проводился по линейно-спектральной методике. Расчет проведен при уровне сейсмических воздействий для участка проектируемого гидроузла равном 9 баллам по шкале MSK-64. Согласно исходным данным, значение расчетного ускорения  $A$  принималось 0,2g для ПЗ.

При определении сейсмической нагрузки на плотину инерционное влияние воды, колеблющейся совместно с сооружением, к массе сооружения, отнесенной к точке на смоченной поверхности сооружения, добавляли массу колеблющейся воды (присоединённая масса жидкости).

При определении динамических характеристик системы плотина – основание были получены периоды и формы собственных колебаний. Периоды первых 10 форм приведены в табл.5.

**Таблица 5.** Формы собственных колебаний

№ формы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Период собственных колебаний, с	0.453	0.303	0.187	0.107	0.065	0.058	0.049	0.046	0.041	0.039

В расчетах сейсмической нагрузки учитывались 6 форм собственных колебаний. Расчетная нагрузка в узлах расчетной сетки определялась по (8)

$$\{R_j\} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \{R_{ij}\}^2}, \quad (8)$$

где  $R_{ij}$  - нагрузка от каждого из учитываемых  $m$  тонов собственных колебаний ( $m=6$ ).

Далее задача решается с учетом сейсмической нагрузки, учитываемой в виде эквивалентных статических сил, которые добавлены как сосредоточенные силы в узловых точках плотины.

Максимальное ускорение на гребне плотины при воздействии 9 баллов составило:

- горизонтальная составляющая – 3,23 м/с<sup>2</sup> (0,329g);
- вертикальная составляющая - 0,93 м/с<sup>2</sup> (0,095g).

Суммарная сейсмическая нагрузка, подлежащая учету в расчетах устойчивости сооружения составляет:

- горизонтальная составляющая – 17,44 МН на 1 п.м. ширины поперек потока;
- вертикальная – 2,87 МН.

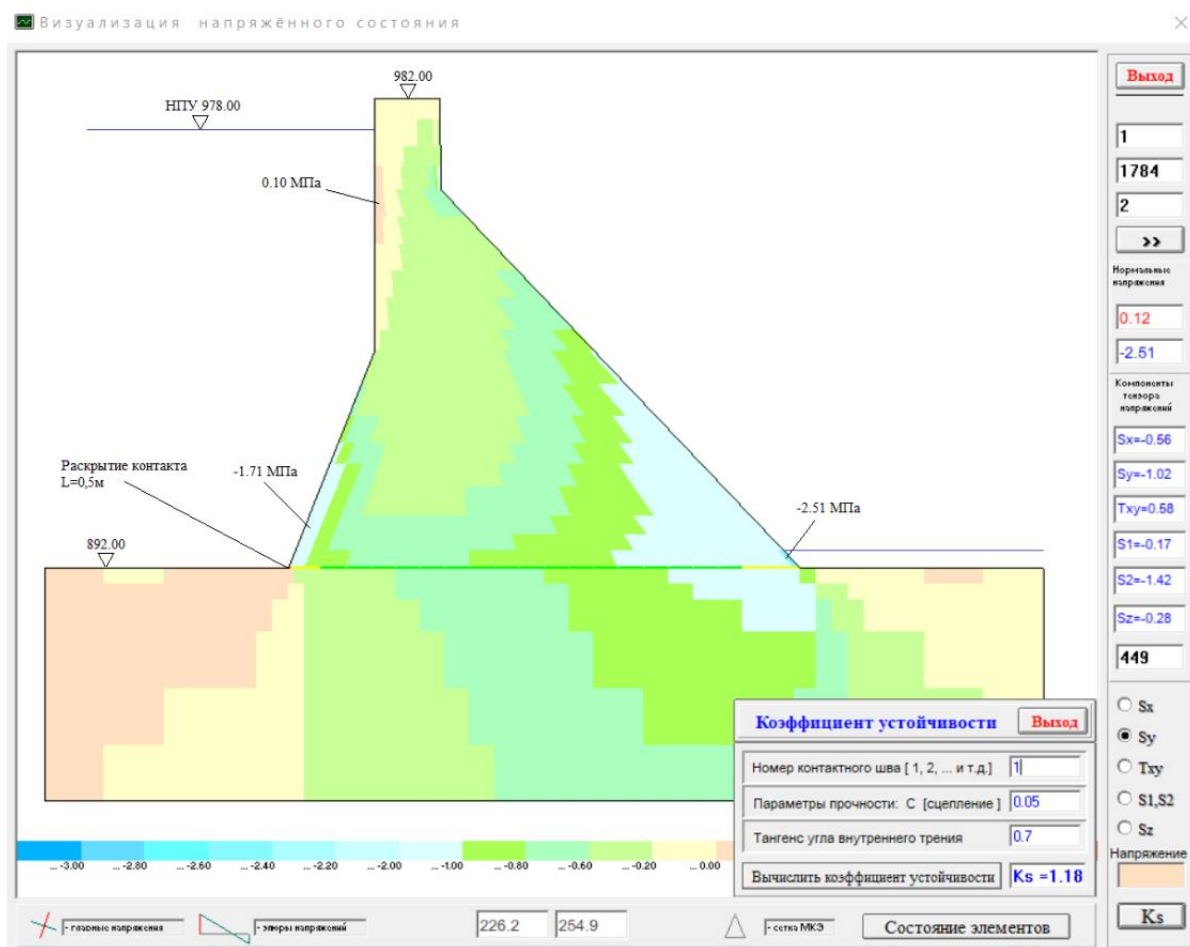
Собственный вес плотины (на 1 п.м. сечения) составляет 89,2 МН. Таким образом, горизонтальная составляющая сейсмической нагрузки на 1 п.м. длины плотины составляет

19,6% от собственного веса сооружения, вертикальная 3,22%. Коэффициент устойчивости  $K_s=1,184$  (при  $C=0,05$  МПа,  $\text{tg}\varphi=0,7$  см. рис. 4). При нагрузке основного сочетания  $K_s=1,83$ .

Перемещения плотины составили  $U_x=3,0$  см – горизонтальное на гребне, осадка  $V_y=1,0$  см.

В бетоне плотины максимальное растяжение  $\sigma_y$  достигает 0,10 МПа в верхней части профиля (рис. 4), в большей части профиля плотины сохраняются сжимающие напряжения до 1,71 МПа со стороны верховой грани и до 2,51 МПа со стороны низовой. В низовом клине плотины максимальное сжатие  $\sigma_2$  составляет 5,77 МПа. В основании до 3,61 МПа.

При моделировании возможного раскрытия контактного шва и разуплотнения основания на контакте «бетонная плотина – основание» раскрытие шва может достичь 0,5 м, но в основании со стороны верховой грани формируется зона растягивающих напряжений (до 1,20 МПа в основном за счёт напряжений  $\sigma_x$  в упругой задаче), которая приводит к образованию зоны разуплотнения основания.



**Рисунок 4** – Изополя напряжений  $\sigma_y$  и подсчёт  $K_s$ , в программном комплексе «CRACK» при особом сочетании нагрузок (статика +сеймика 0,2g)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам оптимизации профиля бетонной гравитационной плотины был получен оптимальный профиль рис.3, отвечающий техническим требованиям прочности и устойчивости. Объём погонного метра бетонной плотины составил  $V = 4138 \text{ м}^3$ .

## ВЫВОДЫ

Расчёт, рассмотренный в статье, позволил подобрать оптимальный профиль бетонной гравитационной плотины, проектируемой на слабом основании и в условиях повышенной сейсмичности.

При сравнении результатов расчёта НДС плотины в основании при расчёте методом сопротивления материалов и МКЭ, было выявлено значительное отличие, что обуславливается учётом в МКЭ перераспределения напряжений под влиянием жесткости основания. При этом приближенный метод сопротивления материалов допускается применять в задаче оптимизации, если в дальнейшем будет произведён расчёт НДС по методу, более приближенному к реальным условиям (МКЭ). В случае, если перерасчёт НДС после оптимизации не будет удовлетворять техническим требованиям – стоит увеличить профиль плотины или предусмотреть иные мероприятия по увеличению устойчивости сооружения.

В дальнейших исследованиях следует рассчитать воздействие максимального расчётного землетрясения (МРЗ). Для более точной оптимизации возможно применение большего числа оптимизируемых параметров плотины (таких как перегиб низовой грани) и большего числа технических требований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рассказов Л.Н., Орехов В.Г., Анискин Н.А., Малаханов В.В., Бестужева А.С., Саинов М.П., Солдатов П.В., Толстикова В.В. Гидротехнические сооружения Часть 1, 2011, с. 153-164.
2. Рассказов Л.Н., Орехов В.Г., Анискин Н.А., Малаханов В.В., Бестужева А.С., Саинов М.П., Солдатов П.В., Толстикова В.В. Гидротехнические сооружения Часть 2, 2011, с. 113-144.
3. Долгушев Т. В., Долгушева, В. В. Создание программного комплекса для расчетов и оптимизации бетонных гравитационных плотин // Молодёжные инновации: сб. матер. семинара молодых учёных XXII Международной науч. конф. Москва, 2019. - С. 296-301.

4. Богомолова Е.П., Очков В.Ф., Хейнлоо М. Решатели или Великолепная семерка Mathcad // Открытое образование. 2015. №3.
5. Сюхина А.И. Сравнение гравитационных плотин из укатанного и тощего бетона гидроузла «Большой Лохран» // Дни студенческой науки: сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института гидротехнического и энергетического строительства НИУ МГСУ — М : Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. – С. 518-526
6. Ивашенцов Д.А., Судаков В.Б. Василевский А.Г., Шангин В.С., Юлькевич Б.Н., Караваев А.В., Лапин Г.Г. Принципы конструирования современных бетонных плотин // Гидротехническое строительство, 2004, №2
7. Судаков В.Б., Марчук А.Н. Перспективные конструктивно-технологические решения для сейсмостойких гравитационных плотин. Известия ВНИИГ, т.238, 2000.

# ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ БЕРЕГОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПЕРЕФОМИРОВАНИЕ ПРИЛЕГАЮЩЕГО ПЛЯЖА

**Рыбакова К. А.**

*студентка 2 курса магистратуры 18 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Кантаржи И.Г.**

*доктор технических наук, профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Объектом исследования являются береговые сооружения, проектируемые в рамках проекта «База водных видов спорта в Приморском районе». Представлены результаты оценки влияния поперечных сооружений в береговой зоне парка имени 300-летия Санкт-Петербурга на динамику пляжа. Была проведена предварительная оценка на основании математической модели пляжа, которая позволила получить оценку скорости его размыва и аккумуляции в разных его зонах после строительства. В качестве исходных данных использованы данные инженерных изысканий для региона. Цель настоящей работы – подобрать оптимальный вариант компоновки ГТС, при котором обеспечивалась бы стабильность пляжа, учитывая строительство поперечных сооружений, а также рекомендации по дополнительным пляжеудерживающим мероприятиям. Строительство сооружений в комплексе с дополнительными мерами (было подобрано два варианта) поспособствует стабилизации состояния прилегающего пляжа.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, волновой режим, ветер, течения, литодинамические процессы, динамика пляжа.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Строительство сооружений планируется в береговой зоне парка имени 300-летия Санкт-Петербурга (площадь 89 гектаров), который был заложен в 1995 году для увековечения юбилейной даты со дня основания города.

В заливе должны появиться три опоры с флагштоками, а пляж парка будет обустроен, а также будет построена база ГТО. Каждое из трех оснований — это некий «поднос» диаметром 50 метров, на котором расположен 35-метровый административный «торт», а из него уже торчит почти двухсотметровая «свечка». Расположены они с разной удаленностью от берега, но отличия друг от друга незначительные. От каждого подноса к берегу будут

проложены эстакады, пешеходные, но способные пропустить транспорт (проезжая часть шириной 5 метров).

Планируемое строительство поперечных эстакад может изменить существующее состояние пляжа. Наиболее важная роль в этом будет принадлежать буне № 3 (на рис. 1 отмечена справа), которая ограничит пляж с восточной стороны и воспрепятствует выносу материала. Изменение баланса наносов, конечно, вызовет существенное морфологическое переформирование берега. Цель данной работы заключается в прогнозировании эволюции контура берега в новых условиях на период ближайших десятилетий.



**Рисунок 1** - Плановый снимок пляжа. Зеленая линия показывает контур берега в 2009 г.

С западной стороны построена валунная дамба (по сути, буна), которая, к сожалению, не обеспечивает защиту пляжа от воздействий волн, вызывающих вдольбереговой транспорт наносов (рис. 1 [1]). Так как с восточной стороны пляж не ограничен, материал выносится за его пределы, и берег довольно быстро отступает. Расстояние между штилевым урезом и подпорной стенкой набережной, опоясывающей пляж, значительно уменьшилось в последние годы, что создает угрозу разрушений при штормовых нагонах.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Анализ проводился с помощью математического моделирования гидродинамических и литодинамических процессов для участка акватории Невской губы, прилегающего к району проектирования:

- для естественных условий проектирования;
- для 2-х вариантов компоновки ГТС.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Математическая модель пляжа, ограниченного поперечными сооружениями

Природным аналогом такого искусственного объекта может служить так называемый карманный пляж, расположенный между двумя коренными мысами (рис. 2).

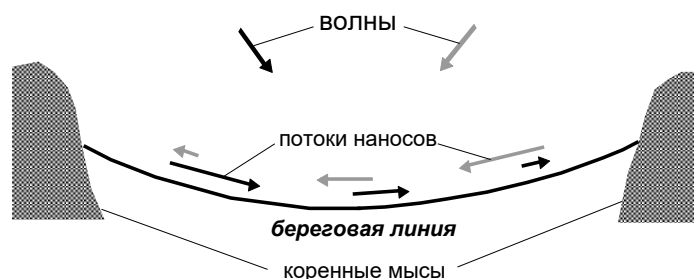


Рисунок 2 - Карманный пляж

Его особенность в том, что береговой контур со временем ориентируется перпендикулярно к направлению равнодействующей волнений. В результате вдольбереговые перемещения противоположных направлений компенсируют друг друга, и берег сохраняет устойчивость.

Очевидно, и в случае искусственного карманного пляжа, его эволюция будет следовать по тому же пути. Если равнодействующая волнений направлена под углом  $\theta_R$  к береговой нормали, то его контур будет со временем разворачиваться таким образом, чтобы данный угол уменьшался и результирующий вдольбереговой перенос затухал (рис. 3). Соответственно, сегмент берега, примыкающий к буне 1, будет характеризоваться размывом и отступанием берега, а в сегменте, примыкающем к буне 2, берег будет выдвигаться за счет аккумуляции поступающих наносов. Как видно на рис. 3, полная длина пляжа, а также размеры областей аккумуляции и размыва характеризуются величинами  $l$ ,  $l_{Ac}$  и  $(l - l_{Ac})$ , соответственно. Средние смещения береговой линии в указанных областях обозначены как  $E$  и  $A$ , а максимальные – как  $E_m$  и  $A_m$ .

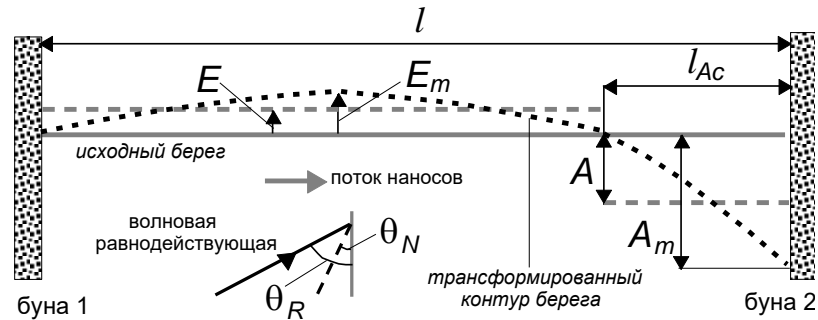
Баланс наносов в рассматриваемом случае включает три основных составляющих: объемы эрозии (размыва)  $Er$ , аккумуляции  $Ac$  и байпассинга (выноса материала в обход головы сооружения)  $Bp$ :

$$Er = Ac + Bp, \quad (1)$$

причем величину  $Ac$  можно выразить в виде:

$$Ac = Er(1 - f_{Bp}), \quad f_{Bp} = \frac{Bp}{Er}, \quad (2)$$

где  $f_{Bp}$  – коэффициент байпасинга, выражающий долю материала, покидающего литодинамическую систему.



**Рисунок 3** - Изменения контура берега, расположенного между двумя поперечными сооружениями

Пусть  $Q_{l0}$  – годовой результирующий вдольбереговой поток наносов до строительства буны 2. Поток  $Q_l$  в последующие годы должен уменьшаться в силу отмеченных изменений контура берега, т.е.

$$Q_l = f_{\Theta} Q_{l0}, \quad (3)$$

где  $f_{\Theta} \leq 1$ . Величина  $f_{\Theta}$  должна зависеть от угла поворота береговой нормали  $\Theta_N$  относительно начального положения. По мере приближении  $\Theta_N$  к  $\Theta_R$  (к углу волновой равнодействующей в начальный момент), значение  $f_{\Theta}$  должно стремиться к нулю. Текущее значение  $\Theta_N$  можно оценить исходя из достигнутых максимальных смещений береговой линии  $E_m$  и  $A_m$ . В результате приходим к соотношениям:

$$f_{\Theta} = \frac{\Theta_R - \Theta_N}{\Theta_R}, \quad \Theta_N = \arctg\left(\frac{E_m + A_m}{0,5(l + l_{Ac})}\right). \quad (4)$$

В дальнейшем будем использовать значение  $\Theta_R = \Theta_{R*}$  на глубине  $h_*$ , маркирующей морскую границу потока наносов (которая определяется позже).

Объем размыва за период времени  $T$ , после строительства определится как:

$$Er = \int_0^T Q_l dt = Q_{l0} T^*, \quad T^* = \int_0^T f_{\alpha} dt, \quad (5)$$

где  $T^* < T$  имеет смысл виртуального периода времени (при  $Q_l = Q_{l0}$  мы имели бы  $T^* = T$ ).

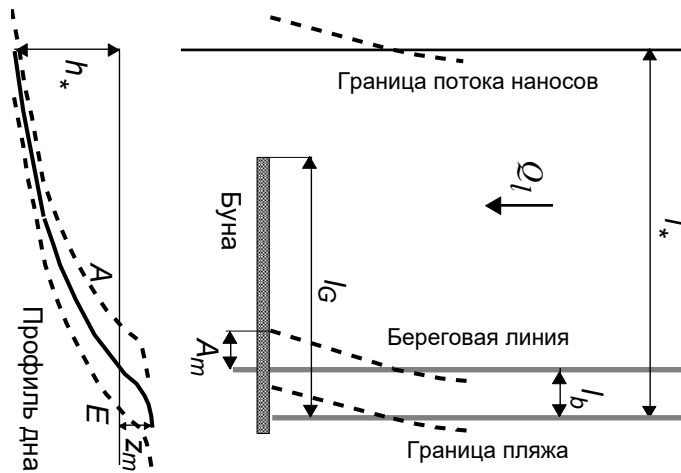


Рисунок 4 - Параметры активного берегового профиля и его смещения в ходе эволюции

Далее используется понятие активного профиля берега, в пределах которого концентрируются потоки наносов и морфологические изменения дна (рис. 4). Активный профиль располагается между максимальным возвышением пляжа  $z_m$  и глубиной замыкания  $h_*$ , ограничивающей область существенных штормовых деформаций. В пределах длины профиля  $l_*$  выделяются: надводный пляж шириной  $l_b$  и его подводная часть  $l_* - l_b$  (рис. 4). Предполагается, что изменение положения береговой линии сопровождается перемещением всего активного профиля берега как единого целого [2]. Это позволяет определить средние смещения береговой линии  $E$  и  $A$  в сегментах размыва и аккумуляции в следующем виде:

$$E = \frac{Er}{(h_* + z_m)(l - l_{Ac})}, \quad A = \frac{Ac}{(h_* + z_m)l_{Ac}} \quad (6)$$

В первом приближении контур берега  $S(x)$  можно представить в зоне размыва полуволновой синусоиды, а в зоне аккумуляции – наклонной прямой [3]:

$$S(x) = E_m \sin 2\pi \frac{x}{l - l_{Ac}}, \quad 0 \leq x \leq l - l_{Ac}, \quad E_m = \frac{\pi}{2} E,$$

$$S(x) = -A_m \frac{x - (l - l_{Ac})}{l_{Ac}}, \quad l - l_{Ac} \leq x \leq l, \quad A_m = 2A, \quad (7)$$

где максимальные смещения  $E_m$  и  $A_m$  определены из геометрических соотношений.

Глубина  $h_*$  в (6) выражается через значительную высоту волн  $H_{s012}$ , характеризующуюся превышением не более 12 ч в году. Кроме того,  $h_*$  зависит от заданного порога деформаций дна  $\Delta h_c$  и при  $\Delta h_c = 0,1$  м может быть найдена из соотношения:

$$h_* = \bar{K} H_{s012}, \quad \bar{K} = \left[ 0,32 \left( \frac{H_0}{L_0} \right)^{-4/15} + 0,99 \left( \frac{H_0}{L_0} \right)^{4/55} \right], \quad (8)$$

где  $H_0/L_0$  – крутизна волн (в типичном случае  $h_* = (1,5 \div 1,6)H_{s012}$ ).

Протяженность области аккумуляции  $l_{Ac}$  связана с масштабом зоны влияния сооружения  $\Lambda$ , который зависит как от длины сооружения  $l_G$ , так и от ширины потока наносов  $l_*$  [3]:

$$\Lambda = \sqrt{l_* l_G} \text{ при } l_G \leq l_*; \Lambda = l_* \text{ при } l_G > l_* \quad (9)$$

Длина  $l_G$ , как и  $l_*$ , отсчитывается от верхней границы пляжа (отметки  $z_m$ , рисунок 4). В условиях достаточно протяженного пляжа область аккумуляции расширяется со временем  $t$ , следуя зависимости  $l_{Ac} = \Lambda\sqrt{t}$ . Однако при ограниченной длине пляжа величине  $l_{Ac}$  некуда увеличиваться, и она должна стабилизироваться на значениях  $(1 \div 2)\Lambda$ . В дальнейших расчетах принято:

$$l_{Ac} = 1,5\Lambda \quad (10)$$

По мере выдвигения берега у головной части буны 2 объем задержанного материала должен уменьшаться, а объем байпассинга – возрастать. Соответственно коэффициент байпассинга  $f_{Bp}$  в (2) можно определить как (рис. 4):

$$f_{Bp} = \frac{l_* - (l_G - A_m)}{l_*} \quad (11)$$

Очевидно,  $f_{Bp} \rightarrow 1$  при  $A_m \rightarrow l_G$ . Следует также принять во внимание соотношение между длиной сооружения  $l_G$  и шириной потока наносов на подводном склоне  $l_*$  (рис. 4). Здесь выделяются случаи короткого сооружения, когда  $l_G \leq l_*$ , и длинного сооружения, когда  $l_G > l_*$ . В первом случае соотношение (11) применимо непосредственно. Во втором случае оно применимо при дополнительном условии  $A_m > l_G - l_*$ . Если же  $A_m \leq l_G - l_*$ , то  $f_{Bp}=0$ .

Таким образом, приведенные зависимости полностью определяют рассматриваемую литодинамическую систему. Для расчетов эволюции берега требуются данные о волнении, морфологии берега и потоке наносов.

### Режим волнения

Основой для расчетов волнения послужили данные многолетних наблюдений ветрового режима на станции Невская-Порт, приведенные в [4].

Повторяемость относится к безледному периоду (апрель-декабрь). Также указаны длины разгона ветра и средние глубины акватории для основных направлений.

При использовании рекомендованных формул [5] были рассчитаны средние параметры волн, переведенные затем в значительные высоты  $H_s$  и ассоциированные периоды волн  $T_s$ . Полученные результаты приведены в табл. 1. В крайней правой колонке указана продолжительность действия данной волновой ситуации  $t_w$  в течение года.

Таблица 1. Расчетные параметры волн

$W$ , м/с	Направление	$\bar{H}$ , м	$\bar{T}$ , с	$H_s$ , м	$T_s$ , с	$t_w$ , час
9,5	Ю	0,28	2,12	0,45	2,55	19,7
	ЮЗ	0,38	2,56	0,60	3,07	78,1
	З	0,39	2,63	0,63	3,15	286
11,5	Ю	0,32	2,18	0,50	2,61	4,2
	ЮЗ	0,43	2,65	0,69	3,18	13,7
	З	0,45	2,71	0,71	3,25	80,3
13,5	Ю	-	-	-	-	-
	ЮЗ	0,48	2,71	0,76	3,26	3,2
	З	0,49	2,76	0,78	3,31	23,1
15,5	Ю	-	-	-	-	-
	ЮЗ	0,52	2,76	0,83	3,31	0,8
	З	0,53	2,80	0,84	3,35	3,4
18,5	Ю	-	-	-	-	-
	ЮЗ	-	-	-	-	-
	З	0,58	2,83	0,92	3,40	1,2

Определение волновой равнодействующей основывается на подсчете потоков энергии по волноопасным направлениям. Элементарный поток энергии  $F$  равен:

$$F = EC_g \approx 10^3 H^2 T \text{ [Дж/м/с]}, \quad (12)$$

где  $E = \frac{1}{8} \rho g H^2$  – энергия волн на единицу площади,  $C_g = \frac{1}{2} gT/2\pi$  – скорость переноса энергии (групповая скорость),  $\rho$  – плотность воды,  $g$  – ускорение силы тяжести. Меридианная  $F_{cross}$  и широтная  $F_{long}$  составляющие годовых потоков энергии, а также азимут волновой равнодействующей  $\alpha_R$  определяются соотношениями:

$$F_{cross} = \sum_j \sum_i (F t_w)_{ij} \cos \alpha_j, F_{long} = \sum_j \sum_i (F t_w)_{ij} \sin \alpha_j, \tan \alpha_R = \frac{F_{cross}}{F_{long}}, \quad (13)$$

где индексы  $j$  и  $i$  относятся к данному направлению и данной высоте (и периоду) волн соответственно.

В данном случае азимут волновой равнодействующей равен  $\alpha_R = 261^\circ$ . Азимут рассматриваемого берега близок к  $300^\circ$ , а азимут его нормали  $\alpha_N = 210^\circ$ . Следовательно, угол равнодействующей относительно береговой нормали составляет  $\Theta_R = \alpha_R - \alpha_N = 51^\circ$ .

Согласно данным табл. 1, значительная высота волн  $H_{s012}=0,8$  м, а ассоциированный период  $T_{s012}=3,3$  с. Тогда глубина замыкания, согласно (8), равна  $h_*=1,2$  м. Расчет рефракции волн (с периодом  $T_{s012}$ ) дает величину угла волновой равнодействующей на глубине замыкания  $\Theta_{R*}=30^\circ$ .

### Потоки наносов

Вдольбереговой расход наносов  $Q$ , выраженный в  $\text{м}^3/\text{ч}$ , можно определить по формуле [6, 7]:

$$Q = 0,005\mu_h \left( 0,8 + 0,02 \frac{\sqrt{gh_B}}{w_g} \right) H_{rmsB}^2 \sqrt{gh_B} \sin \Theta_B \cos \Theta_B, \quad (14)$$

где  $\mu_h = 3600[(\rho_g/\rho - 1)(1 - \sigma)]^{-1}$ ,  $\rho_g/\rho$  – отношение плотности твердых частиц к плотности воды,  $\sigma$  – пористость песчаного грунта,  $g$  – ускорение силы тяжести,  $w_g$  – скорость осаждения твердых частиц (гидравлическая крупность),  $H_{rmsB}$  – среднеквадратичная высота на глубине обрушения  $h_B$ , где угол подхода волн характеризуется значением  $\Theta_B$ .

Результирующий поток наносов  $Q_{net}$  рассчитывается как

$$Q_{net} = \sum_j \sum_i (Q t_w)_{ij}, \quad (15)$$

где  $t_w$  – продолжительность действия данного расхода (в часах в год), а индексы  $i$  и  $j$  относятся к данной высоте волн и их направлению, соответственно.

Результаты расчетов потоков наносов представлены в табл. 2. Расчеты проведены для двух характерных размеров песка на рассматриваемом пляже – 0,3 и 0,4 мм (для последнего значения даны в скобках). Далее используем среднюю величину потока  $2,4 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год}$ .

**Таблица 2.** Вдольбереговые потоки наносов,  $10^3 \text{ м}^3/\text{год}$

Румб	Ю	ЮЗ	З
$\Theta_0$ , град.	-30	15	60
$\sum Q_i t_{wi}$	-0,06 (-0,05)	0,35 (0,28)	2,38 (1,90)
$Q_{net}$	2,67 (2,13)		

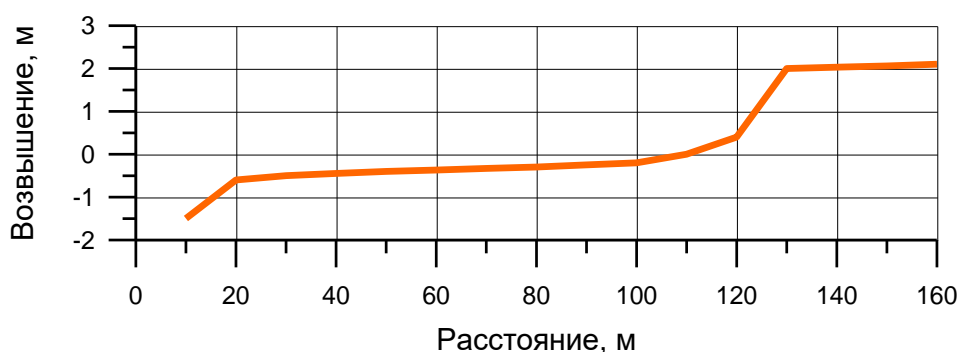
### Прогноз эволюции берега

В соответствии с [1], в среднем интенсивность размыва (отступления берега) составляет 4,5 м в год. Таким образом, в естественном состоянии пляж может быть полностью размывт уже через 10 лет до подпорной стенки (променада).

Все исходные данные для прогноза отражены в табл. 3. Характерный береговой профиль, на основе которого оценены параметры пляжа, показан на рис. 5 (данные из [8]).

**Таблица 3.** Исходные параметры для расчетов

$\Theta_{R*}$ , град	$Q_{lo}$ , $10^3$ $м^3/год$	$l$ , м	$h_*$ , м	$z_m$ , м	$l_*$ , м	$l_G$ , м	$\Lambda$ , м
30	2,4	60	1,	2,0	12	12	12
		0	2		0	0	0

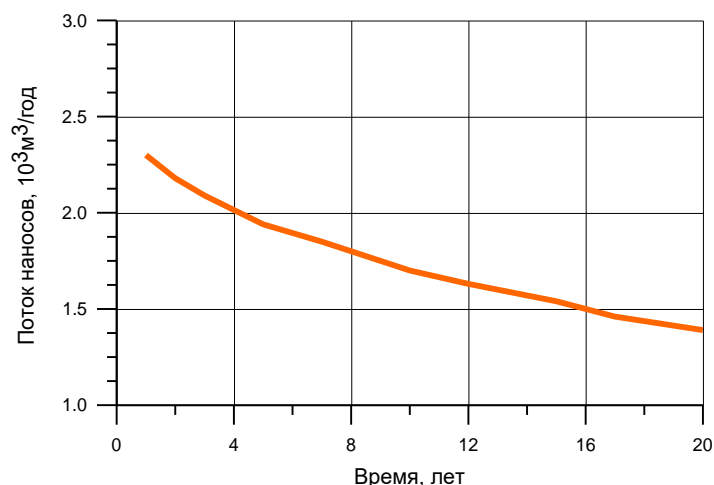


**Рисунок 5** - Типичный профиль берега в районе исследования

Полученные результаты представлены в табл. 4. Здесь отражены прогнозируемые изменения основных динамических показателей в течение ближайших 20 лет, а именно, вдольберегового потока наносов, объемов размыва, аккумуляции и байпассинга, а также максимальных смещений береговой линии в областях размыва и аккумуляции. Эти результаты также показаны в графической форме на рис. 6, 7 и 8.

**Таблица 4.** Прогнозируемые показатели эволюции пляжа

Годы	Поток наносов, $10^3 м^3/год$	Объем размыва, $10^3 м^3$	Объем аккумуляц., $10^3 м^3$	Объем байпасс., $10^3 м^3$	Отступ. берега, м	Выдвиж. берега, м
1	2,30	2,30	2,17	0,13	2,7	7,5
3	2,09	6,34	5,38	0,96	7,4	18,7
5	1,94	9,84	7,68	2,16	11,5	26,7
7	1,85	13,0	9,45	3,52	15,1	32,8
10	1,70	17,3	11,5	5,66	20,0	39,8
13	1,58	20,8	13,0	7,81	24,3	45,2
15	1,54	23,1	13,8	9,21	26,9	48,1
18	1,44	26,2	14,9	11,3	30,6	51,8
20	1,39	28,0	15,4	12,6	32,7	53,7

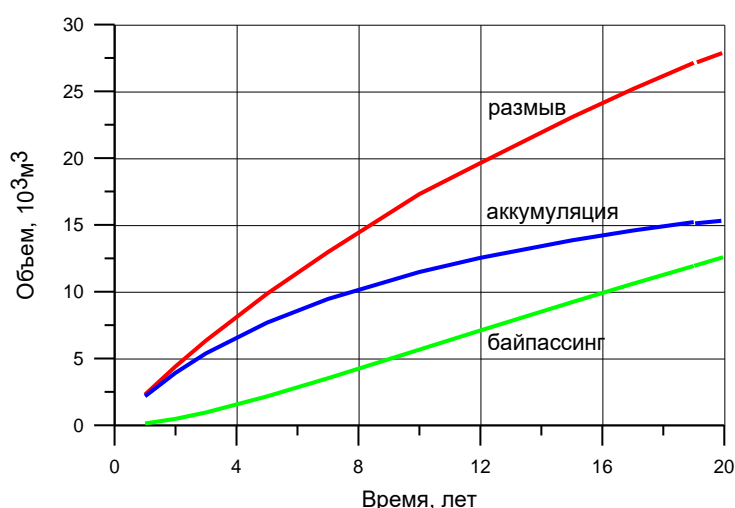


**Рисунок 6** - Прогнозируемые изменения вдольберегового потока наносов

Как видно из рис. 6, вдольбереговой поток наносов со временем заметно уменьшается, что обуславливается разворотом контура берега и уменьшением угла волновой равнодействующей относительно береговой нормали.

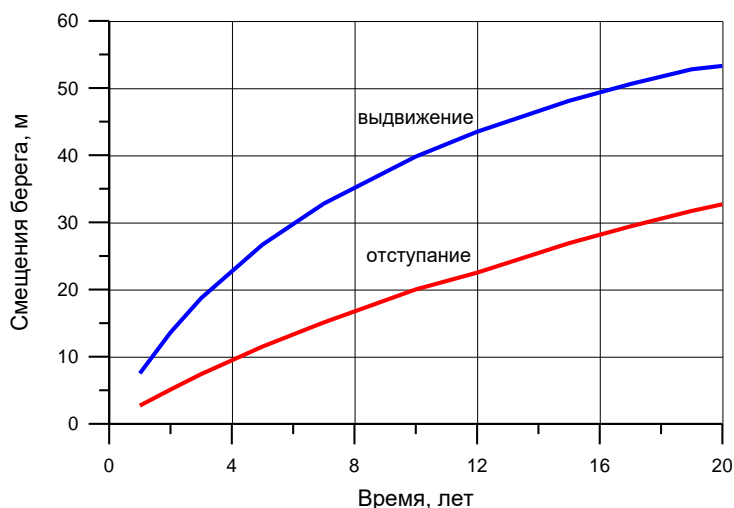
Объемы размыва и аккумуляции увеличиваются со временем, скорость процессов размыва и аккумуляции замедляется (рис. 7).

За 20 лет размыв достигнет величины 28 тыс. кубометров, а аккумуляция у сооружения (буны 3) – 15,4 тыс. кубометров. Соответственно вынос материала с пляжа в обход головы сооружения (байпасинг) составит 12,6 тыс. кубометров. Причем, на рис. 7 видно, что объем байпасинга растет со временем почти линейно.



**Рисунок 7** - Прогнозируемые объемы размыва, аккумуляции и байпасинга





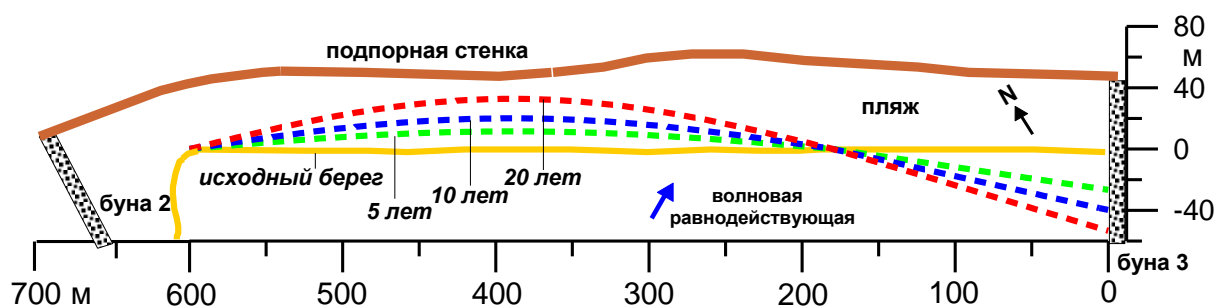
**Рисунок 8** - Максимальные смещения береговой линии в функции времени

Что касается смещений береговой линии, то они также увеличиваются со временем, но скорость процесса в зонах размыва и аккумуляции различна. Берег выдвигается у сооружения особенно быстро в первые годы после строительства. Затем процесс постепенно замедляется, но за 20 лет берег выдвинется более чем на 50 м.

Отступление берега в зоне размыва происходит более равномерно – замедляется со временем. За 20 лет отступление берега составит около 30 м.

На рис. 9 показаны изменения контура берега, ожидаемые в течение ближайших 20–30 лет в условиях создаваемых сооружений (буна 1 и буна 2).

Очевиден разворот берега по часовой стрелке, что обусловлено стремлением контура к равновесному положению по отношению к волновой равнодействующей. Скорость размыва пляжа снижается, зона размыва локализуется в центральной части между бунами 1 и 2. Полный размыв данной локальной части пляжа прогнозируется через 20-30 лет.



**Рисунок 9** - Ожидаемая эволюция контура берега

Таким образом, планируемое строительство сооружений существенно замедлит процесс размыва пляжа и локализует зону интенсивного размыва, хотя и не сможет полностью прекратить процесс размыва. Безвозвратный вынос материала значительно

уменьшится, одновременно будет запущен процесс перестройки контура пляжа, который будет сопровождаться локальным отступанием уреза в центральной части пляжа и накоплением материала в районе бун 1 и 2.

Одним из вариантов дальнейшей (перспективной) защиты берега, вероятно, могло бы быть строительство волноломов из каменной наброски, расположенных вдоль берега с определенным интервалом, масштабом которого, вероятно, может служить ширина вдольберегового потока  $l_*$ . В рассматриваемом случае  $l_*=120$  м. С учетом общей длины пляжа около 600 м, при выборе шага порядка  $l_*$  достаточно было бы пары волноломов, расположенных в зоне потенциального размыва (рис. 10). Длина волноломов, по-видимому, также может быть связана с шириной потока наносов  $l_*$ , а глубина расположения – с глубиной замыкания  $h_*$  (в данном случае 1,2 м).

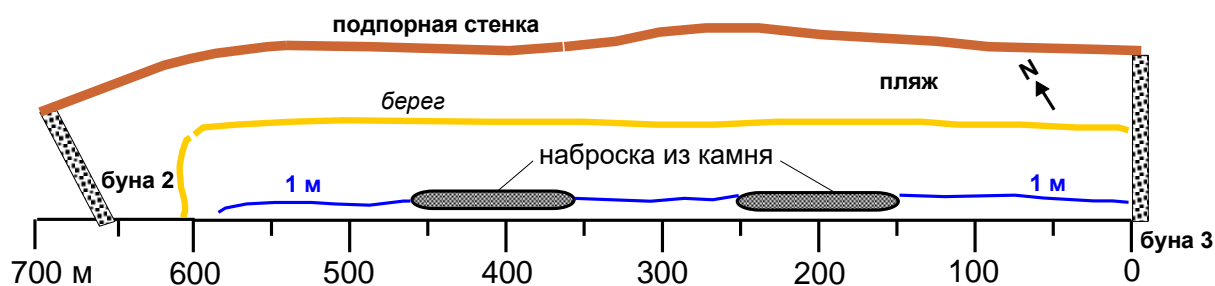


Рисунок 10 - Один из возможных вариантов берегозащиты

Также не исключен вариант с бунами, которые перехватывают поток наносов в пропорции отношения их длины  $l_G$  к ширине потока  $l_*$ . Согласно [9], расстояние между бунами не должно превышать величину  $2\Lambda$ , где  $\Lambda$  – область влияния сооружения (формула (9)). Тогда при длине сооружений  $l_G = l_*$  было бы достаточно построить две буны в зоне потенциального размыва.

Очевидно, выбор варианта берегозащиты нуждается в дальнейшем обосновании, в том числе, и экономическом. Независимо от этого, насущной задачей является пополнение запаса материала на пляже, который значительно истощился за последнее десятилетие.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отчет 1290–2020. ИГМИ. Технический отчет по результатам инженерно-гидрометеорологических изысканий. АО «Фирма УНИКОМ». 2020.
2. Bruun P. The Bruun rule of erosion by sea-level rise: a discussion on large-scale two- and three-dimensional usages // J. of Coastal Res. 1988. V. 4. № 4. P. 627–648.
3. Леонтьев И.О. Изменения контура берега, вызванные поперечным сооружением в береговой зоне моря // Геоморфология. 2018. № 3. С. 32-39. DOI: 10.7868/S0435428118030033.

4. Отчет о НИР «Математическое моделирование нагонов, течений, волнения и размывов дна в Невской губе и устье реки Невы». ООО «КАРДИНАЛ софт». Санкт-Петербург, 2016.
5. Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.К. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. Л.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1990. 432 с.
6. Леонтьев И.О. Морфодинамические процессы в береговой зоне моря. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 251 с. ISBN: 978-3-659-62831-3.
7. Леонтьев И.О. О расчете вдольберегового транспорта наносов // Океанология. 2014а. Т. 54. № 2. С. 226–232.
8. Экспертное мнение по строительству объекта «База водных видов спорта в Приморском районе». ФГБУ «ВСЕГЕИ». Санкт-Петербург, 2021.
9. Леонтьев И.О., Акивис Т.М. О воздействии системы бун на песчаный берег // Океанология. 2020. Т. 60. № 3. С. 474–484. DOI: 10.31857/S0030157420030041.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТА ФИЛЬТРАЦИИ ЧЕРЕЗ ТЕЛО ПЛОТИНЫ “АЛЬ-БАЛУТА” В СИРИИ

**Алмасри Амер Салех**

*студент 1 курса магистратуры 17 группы, ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Козлов Д. В.**

*доктор технических наук, заведующий кафедры ГиГС НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

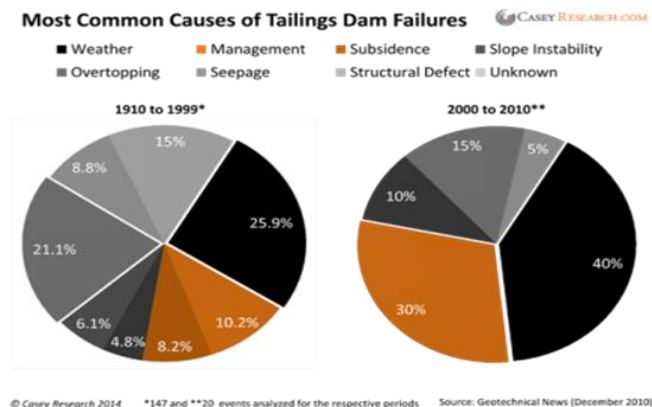
Плотина — это гидротехническое сооружение, используемое для создания водохранилища; подъема уровня воды, создания напора и производства энергии; защиты от наводнений. Одной из основных причин разрушения грунтовой плотины является фильтрация. Существуют различные методы оценки расхода воды, фильтрующегося через тело плотины: 1) аналитические, 2) численные и 3) экспериментальные методы. На предварительном этапе проектирования грунтовой плотины необходимо приблизительно оценить фильтрацию. Объектом нашего исследования является плотина «Аль-Балута», которая расположена в центральной части долины реки Аль-Балутия, на расстоянии 2,5 км ниже по течению от села Аль-Дайрун в районе Шейх-Бадр у города Тартус в Сирии. Расчет фильтрации через тело плотины был выполнен традиционными методами (Касагранде - Павловского) и с использованием программы «GeoStudio» (SEEP/W). Итоговые расчеты показали, что использование традиционного уравнения Н.Н. Павловского дало результаты наиболее близкие к результатам решения, полученного с применением указанной программы. Показано, что уравнение Павловского содержит больше параметров, чем уравнение Касагранде или любое другое известное уравнение для оценки фильтрации.

**Ключевые слова:** грунтовая плотина, фильтрация, «GeoStudio» (SEEP/W).

## **ВВЕДЕНИЕ**

Грунтовые, бетонные и каменные плотины являются одними из важнейших сооружений на водных объектах, их разрушение может привести к самым серьезным катастрофам в современном мире. Поэтому необходимо изучить все явления и факторы, которые могут негативно повлиять на стабильную работу и безопасность грунтовой плотины, включая явление фильтрации через тела плотины и ее основание, которое может стать одной из основных причин разрушения большинства грунтовых плотин в мире (рис. 1) [1]. Исследуя причины разрушения более 200 грунтовых плотин по всему миру, специалисты

пришли к выводу, что 25 процентов разрушений сооружения произошло из-за вымывания (суффозии) мелких частиц грунта в теле и/или основании плотины [2][3]. Аналитические методы решения задачи фильтрации в пористой среде основаны на решении дифференциальных уравнений с использованием принятых упрощений (гипотез). Эти гипотезы приемлемы для определенных условий, поэтому область их применения ограничена задачами с определенной геометрией, начальными и граничными условиями. Наряду с другими численными методами, для исследования фильтрации доступны такие приемы как конечные элементы, конечные разности и конечные объемы [4].

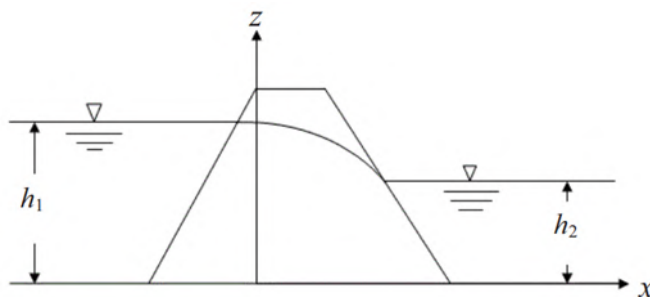


**Рисунок 1** - Наиболее распространенные причины разрушения дамбы.

Аналитическое решение задачи фильтрации в теле грунтовой плотины получено многими авторами. Так, например, Дюпюи (1863) предположил, что гидравлические градиенты имеют одинаковый наклон свободных поверхностей [5]. Принимая во внимание, что фильтрация в грунтовой плотине является плавно изменяющейся, используя закон Дарси, Дюпюи для расчета удельного фильтрационного расхода через вертикальный профиль плотины предложил формулу (1).

$$q = k \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l} \quad (1)$$

В этом уравнении  $l$ ,  $h_1$  и  $h_2$  — длина пути фильтрационного потока, высота столба воды сверху и снизу плотины, как показано на (рис. 2).



**Рисунок 2** - Характеристики, используемые в решении Дюпюи

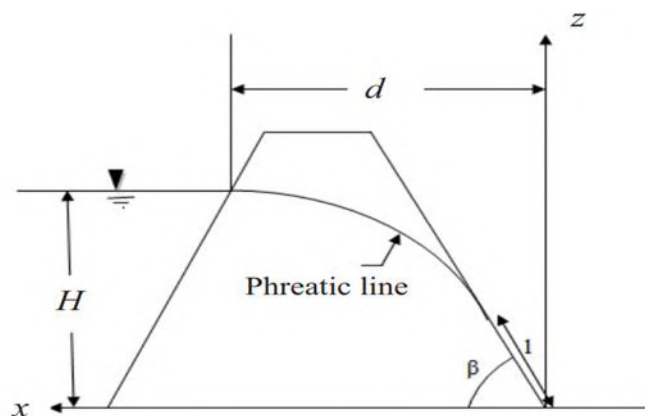
На основании уравнения (1) Н.Н. Павловский предложил гидравлический метод фильтрационного расчета грунтовых плотин, разбивая поперечный профиль плотины на три фрагмента: верховой клин, среднюю часть и низовой клин. Фильтрационные уравнения составлены Н.Н. Павловским для всех типов плотин: однородных с ядром, с экраном на непроницаемом основании как дренированных, так и не дренированных, а также при наличии и отсутствии воды в нижнем бьефе.

Шаффернак (1917) предложил уравнения (2) и (3) для расчета фильтрации через тело однородной насыпной грунтовой плотины на водонепроницаемом основании, как показано на (рис. 3).

$$q = k \cdot l \cdot \sin \beta \cdot \tan \beta \quad (2)$$

$$l = \frac{d}{\cos \beta} - \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \beta} - \frac{H^2}{\sin^2 \beta}} \quad (3)$$

В этих уравнениях  $\beta$  — угол наклона поверхности фильтрационного потока (низового откоса плотины) в градусах,  $d$  — длина фильтрационного пути в метрах,  $H$  — высота столба воды сверху по течению в метрах.



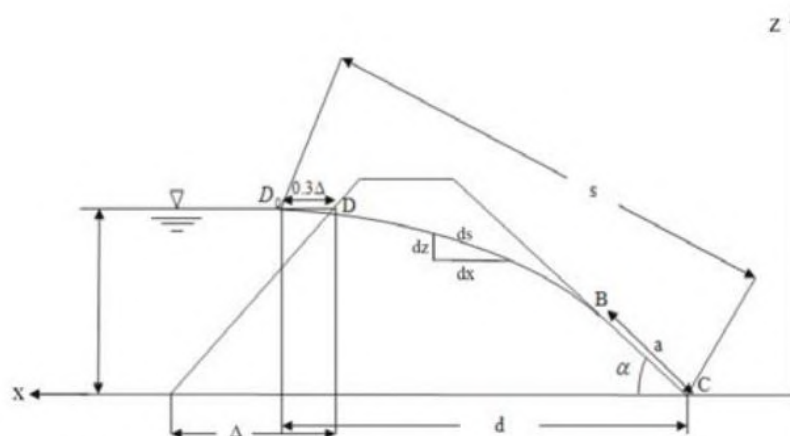
**Рисунок 3** - Схема для решения задачи по методу Шаффернака

Касагранде (1937) предложил определять расход фильтрующейся воды через тело насыпной грунтовой плотины из предположения, что гидравлический уклон ( $dz/dx$ ) равен ( $dz/ds$ ), где  $s$  — длина, измеренная по фреатической поверхности в метрах (уравнения (4) ~ (6)):

$$q = k \cdot a \cdot \sin^2 a \quad (4)$$

$$a = s - \sqrt{s^2 - \frac{h^2}{\sin^2 a}} \quad (5)$$

$$s = \sqrt{d^2 + h^2}, d = l - 0.7\Delta \quad (6)$$



**Рисунок 4** - Расчетная схема для решения задачи фильтрации по Касагранде (Das, 1983)

На рисунке 4:  $\alpha$  — угол наклона низового откоса плотины в градусах,  $h$  — высота воды со стороны верхнего бьефа плотины в метрах,  $l$  — ширина приведенного основания ядра.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве расчетных методов - инструментов в настоящем исследовании использовались гидравлические методы и программное обеспечение «GeoStudio». Расчеты фильтрации через тело плотины выполнялись традиционными гидравлическими методами (Караганде - Павловский), а их результаты сравнивались с результатами, полученными с помощью программы «GeoStudio» (SEEP/W) [6][7].

Объект исследования - плотина Аль-Балута. Сооружение расположено в центральной части долины реки Аль-Балута, на расстоянии 2,5 км ниже по течению от деревни Аль-Дайрун в районе Шейх-Бадр у города Тартус в Сирии (рис. 5). Назначение водохранилища, созданного плотиной, - это обеспечение питьевой водой деревень и прочих населенных пунктов, а также орошение 120 га сельскохозяйственных угодий. Объем водохранилища составляет 2,566 млн. куб. метров воды. Длина плотины - 318 м, максимальная высота - 42 м, ширина по гребню - 10 м. Плотина каменно-набросная с ядром из глинистого грунта как показано на рис.6. Проницаемость материалов, использованных в теле плотины, представлена в табл. 1.



Рисунок 5 - Расположение плотины Аль-Балута

Таблица 1. Водопроницаемость материалов тела плотины

Тип материалов	Водопроницаемость (м/сутки)
Верховой и низовой клин	2
Внешний фильтр	0.5
Внутренний фильтр	0.05
Ядро	0.001
Первый слой основания	0.05
Второй слой основания	0.001

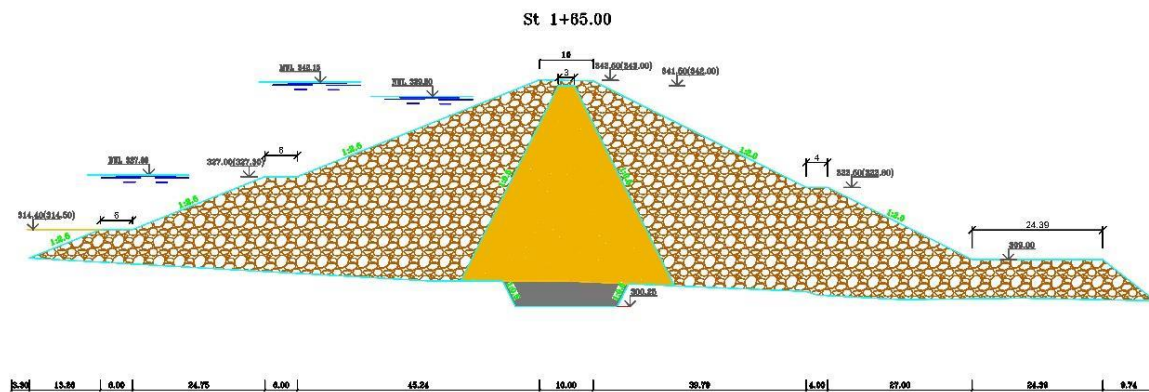


Рисунок 6 - Поперечный профиль плотины Аль-Балута

Как было сказано выше, для достижения целей данного исследования использовался программный комплекс «GeoStudio».

Программный комплекс «GeoStudio» является одной из наиболее известных геотехнических программ (используется с 1977 г.), алгоритм которой основан на методе конечных элементов; может выполнять расчет напряженно-деформированного состояния, анализ устойчивости откосов, деформаций грунта, фильтрации, тепломассопереноса.

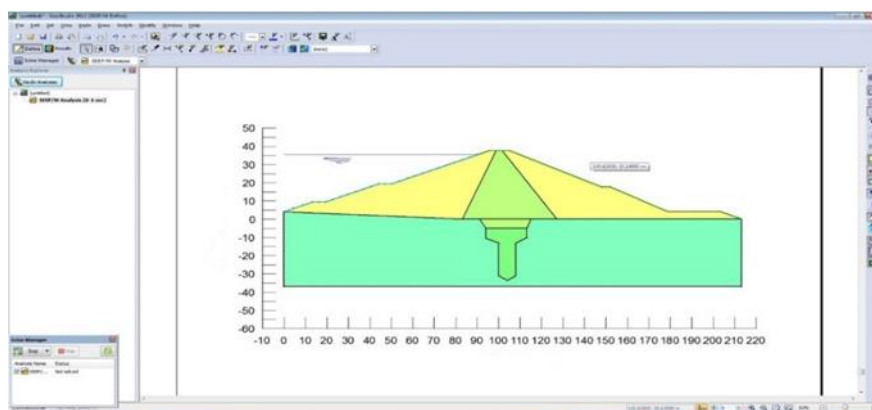
Анализ потока подземных вод в насыщенных и/или ненасыщенных пористых средах (почвах, грунтах, горных породах) методом конечных элементов в геоинженерной модели



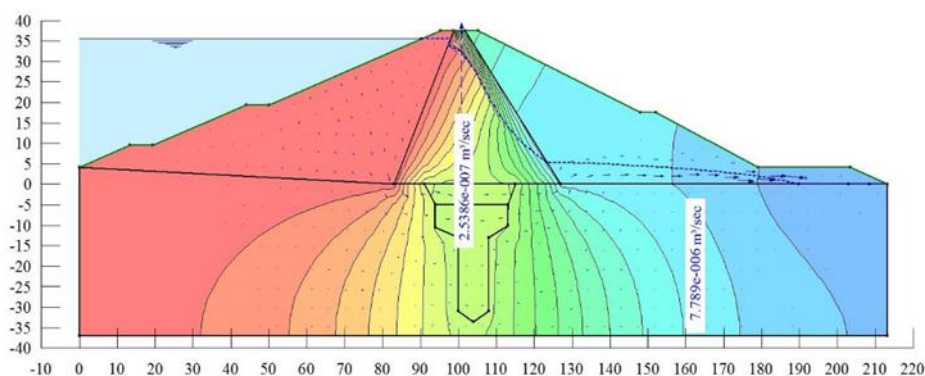
выполняется с помощью программного инструмента SEEP/W (SEEPAGE для Windows), который входит в состав «GeoStudio» и используется для моделирования движения и распределения давления фильтрационной воды в пористых материалах. В основу расчетного алгоритма положено предположение о том, что движение потока воды через насыщенный грунт подчиняется закону Дарси. Модель SEEP/W предназначена для решения двумерных задач движения фильтрационного потока при наличии нескольких слоев грунта. С помощью SEEP/W могут быть проанализированы направления движения грунтовых вод. В условиях установившегося движения разницы между входным потоком и выходным потоком нет. Для расчета методом конечных элементов модель SEEP/W делится на узлы. Вычисляется высота уровня воды в каждом узле. В моделях SEEP/W сделаны следующие допущения: (1) водоносный горизонт неоднороден и изотропен, и (2) водоносный горизонт частично напорный, а частично безнапорный. Выходная графика высокого качества позволяет визуальным образом отображать эквипотенциальные линии и линии тока, а контуры могут быть построены для различных характеристик, таких как поровое давление, скорость просачивания и градиенты фильтрации. Результаты расчетов включают в себя величины фильтрационного расхода и давления в выбранных пользователем точках модели.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании расчета количества воды, профильтровавшейся через тело грунтовой плотины, выполненного по уравнениям Касагранде и Павловского, были созданы изображения плотины в программе SEEP/W и введены значения коэффициента водопроницаемости для различных участков тела плотины и основания, определены граничные условия модели. В результате была получена модель плотины, показанная на рис.7, и получены значения фильтрационных расходов в теле плотины и положение линий тока (рис. 8).



**Рисунок 7** - Окончательный поперечный профиль грунтовой плотины



**Рисунок 8** - Результаты фильтрационных расчетов грунтовой плотины

Установлено, что использование современных методов численного моделирования дает более точные результаты, чем традиционные, «ручные» методы фильтрационных расчетов, позволяя достичь истинных значений фильтрации, столь необходимых в связи с опасностью возникновения суффозии и проблемы возможного разрушения плотины.

**Результаты расчетов, выполненных по гидравлическим и численному методам:**

Касагранде:  $q_{all} = 1.87 * 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$ ,

Павловский:  $q_{all} = 1.94 * 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$ ,

«GeoStudio /Seep»:  $q_{all} = 1.922 * 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$ .

В результате получено, что традиционный гидравлический метод Н.Н. Павловского дал результат наиболее близкий к результату численного решения фильтрационной задачи. Уравнение Павловского содержит больше параметров, чем формула Касагранде или любое другое традиционное уравнение.

**ВЫВОДЫ**

Исследование процесса фильтрации в теле грунтовых плотин является одним из наиболее важных и нужных в процессе проектирования таких сооружений, которое необходимо выполнять для обеспечения безопасности и функциональной пригодности водоподпорного гидротехнического сооружения. В исследовании были рассмотрены некоторые традиционные гидравлические методы расчета фильтрации (Касагранде и Павловского), выполнено сравнение результатов, полученных по этим методам, с результатами численного решения (с помощью программы SEEP/W) фильтрационной задачи. Установлено, что метод Н.Н. Павловского дал результат наиболее близкий к численному решению.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. S. S. Athani, Shivamant, C. H. Solanki, and G. R. Dodagoudar, "Seepage and Stability Analyses of Earth Dam Using Finite Element Method," *Aquatic Procedia*, vol. 4, pp. 876–883, 2015, doi: 10.1016/j.aqpro.2015.02.110.
2. H. Moayedi, B. Huat, F. Moayedi, T. Mohammad, and A. A. Moghaddam, "23 Years Water Level Monitoring Through Earthfill Dam (Case Study)," *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 16, pp. 41–58, Jan. 2011.
3. H. J. Kanchana and H. S. Prasanna, "Adequacy of Seepage Analysis in Core Section of the Earthen Dam with Different Mix Proportions," *Aquatic Procedia*, vol. 4, pp. 868–875, 2015, doi: 10.1016/j.aqpro.2015.02.109.
4. C. Andreea, "Unsaturated Slope Stability and Seepage Analysis of a Dam," in *Energy Procedia*, 2016, vol. 85, pp. 93–98. doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.278.
5. Гришин М.М. и др., *Гидротехнические сооружения*, vol. 615, no. 1. 1979.
6. B. M. A Noori Khaleel S Ismaeel Assistant Assistant Lecturer, "Noori: Evaluation Of Seepage And Stability of Duhok Dam EVALUATION OF SEEPAGE AND STABILITY OF DUHOK DAM."
7. M. Broaddus, "Performing a steady-state seepage analysis using SEEP/W : a primer for engineering students.," 2015. doi: 10.18297/etd/2219.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОДООБМЕНА АКВАТОРИИ ЯХТЕННОЙ ГАВАНИ С ПОМОЩЬЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО РАСХОДА ВОДЫ ЧЕРЕЗ ОГРАДИТЕЛЬНЫЙ МОЛ

**Медведева А. В.**

*студентка 6 курса 12 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Кантаржи И. Г.**

*доктор технических наук, профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Ограниченный водообмен с морем может привести к изменению качества воды в портовых акваториях. В данной работе рассматривается обеспечение водообмена в яхтенных портах – маринах. Актуальность этой проблемы вызвана тем, что для них качество вод влияет не только на природоохранную составляющую, но и на потребительскую. В статье рассматриваются несколько способов достижения оптимального водообмена акватории: с помощью ветровых течений, с помощью дополнительного расхода воды через специальные отверстия в оградительном моле, а также с помощью допуска перелива воды через гребень оградительного сооружения во время достаточно сильных штормов. Трехмерная гидростатическая бароклинная модель SELFE (Semi-implicit Eulerian–Lagrangian Finite Element) предназначена для расчета гидродинамических полей ветровых течений в прибрежных зонах морей, озерах и эстуариях.

**Ключевые слова:** оградительное сооружение, яхтенный порт, ветровые течения, численное моделирование полей течений, сравнение вариантов.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Вопрос ограниченного водообмена в закрытых акваториях рассматривается в связи с обеспечением надлежащего качества воды. В России строительство яхтенных портов начало развиваться и для них особенно важно наблюдать за состоянием качества воды, так как территория данных сооружений будет использоваться, как зона для отдыхающих. В природе водообмен достигается при помощи действия естественных течений: ветровых или приливных, которые осуществляют замещение водных масс внутри акватории с водными массами внешней части моря. Но в некоторых случаях этого оказывается недостаточно, отсюда появляется необходимость в разработке специальных конструктивных строительных решениях, которые помогут содействовать достижению оптимального результата.

В работе рассматриваются несколько вопросов: обеспечение водообмена акватории порта ветровыми течениями, а также способы увеличения интенсивности водообмена при помощи изменения конфигурации оградительных сооружений, благодаря которым появится возможность дополнительного пропуска расхода воды.

Продемонстрировать данные вопросы предлагается на основании проекта яхтенного порта в г. Геленджике путем сравнений результатов математических моделей водообмена в марине, с компоновкой оградительных сооружений, разработанных в 2017 г. и в 2018 г.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Для изучения первого варианта улучшения интенсивности, рассмотрим проект яхтенного порта в г. Геленджик.

В статье используются результаты работы [1], целью которой было уточнение проектных решений от 2017 г. и от 2018 г. и выбор оптимальной компоновки оградительных сооружений. Строительство порта приведет к изменению циркуляции, как внутри объекта строительства, так и в Геленджикской бухте. При этом изменится структура течений, поля температуры и солености.

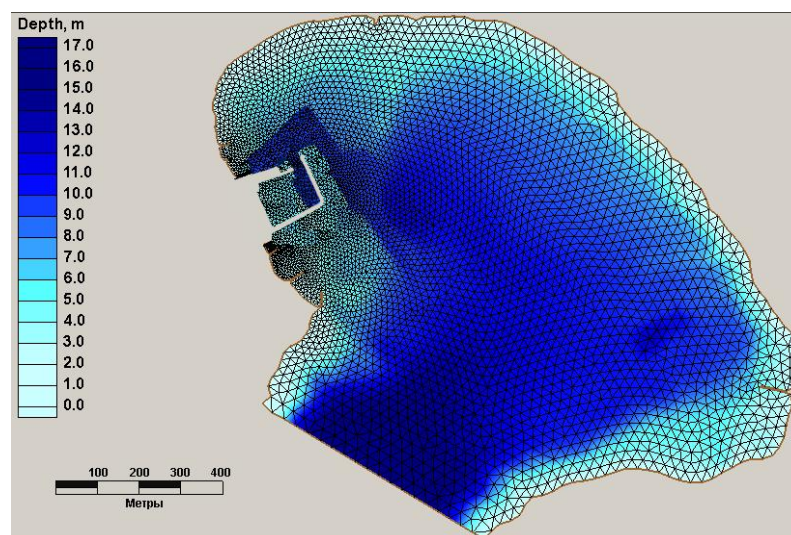
Для моделирования водообмена акватории порта с Геленджикской бухтой, а также бухты с открытым морем ветровыми течений использовалась трехмерная гидростатическая бароклинная модель SELFE (Semi-implicit Eulerian–Lagrangian Finite Element), предназначенная для расчета гидродинамических полей в прибрежных зонах морей, озер и эстуариев. В модели рассчитываются три компоненты скорости, температура, соленость и колебания свободной поверхности [5].

Рассматриваемый порт расположен на Черноморском побережье Кавказа в бухте Геленджикской, на ее юго-западном берегу в районе ул. Портовой. Генеральный план порта в конфигурациях 2018 годов показан на рисунке 1.



**Рисунок 1** - Генеральный план порта Геленджик в конфигурации 2018 г.

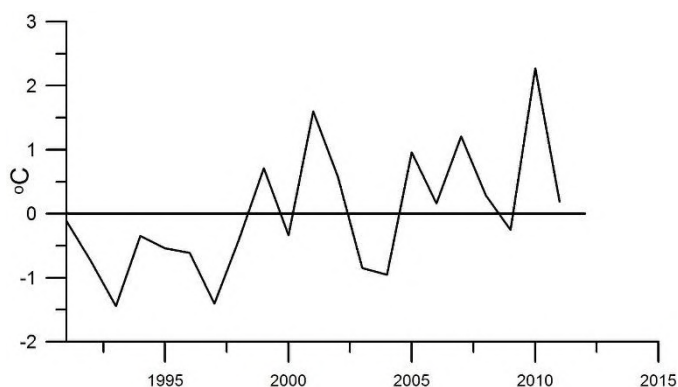
Для моделирования полей ветровых течений была выбрана область, охватывающая Геленджикскую бухту (Рис. 2) [2, 3]. На этом рисунке показана область моделирования и распределение глубин при проектируемом портовом комплексе, построенное с цифровых карт. Расчеты проводились для двух расчетных конфигураций: распределения глубин до строительства (Сценарий 1) и при наличии проектируемого объекта строительства (Сценарий 2), показанного на Рис. 2.



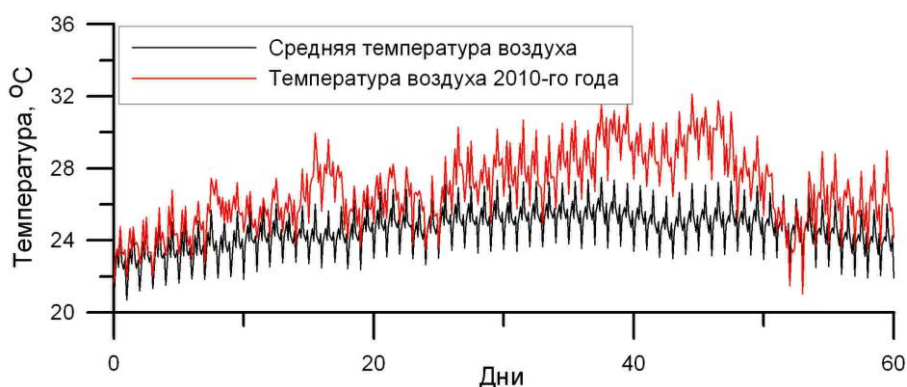
**Рисунок 2** - Расчетная сетка и карта глубин в Геленджикской бухте при наличии проектируемого объекта строительства (Сценарий 2).

Расчетная сетка состоит из 6482 узлов и включает 12896 элементов. Размеры сторон элементов варьируются от 9 м на входе в порт, до 100 м на входе в бухту. По вертикали использовалась сигма-система координат, включающая 11 уровней. Расчеты проводились с помощью гидростатической версии модели SELFE с временным шагом 10с. На входе в Геленджикскую бухту задавались условия излучения для полей скорости, уровня, температуры и солености.

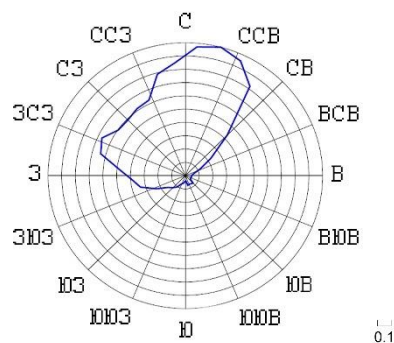
На основе анализа архива метеорологических данных за 1991 – 2011 года из базы данных ERA-interim Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды за июль-август для моделирования выбран экстремально теплый 2010 год (Рис. 3), в предположении, что метеорологические условия в этом году наиболее неблагоприятны для водообмена в объекте строительства. Расчеты проводились для июля-августа 2010 года. На Рис. 4 приведен временной ход температуры воздуха в этот период. На Рис. 5 показана роза ветров за июль-август 1991–2011 годов, в котором, как следует из рисунка, доминируют ветра северного направления.



**Рисунок 3** - Отклонение от средней температуры за июль-август 1991-2011 годов по данным ERA-interim.

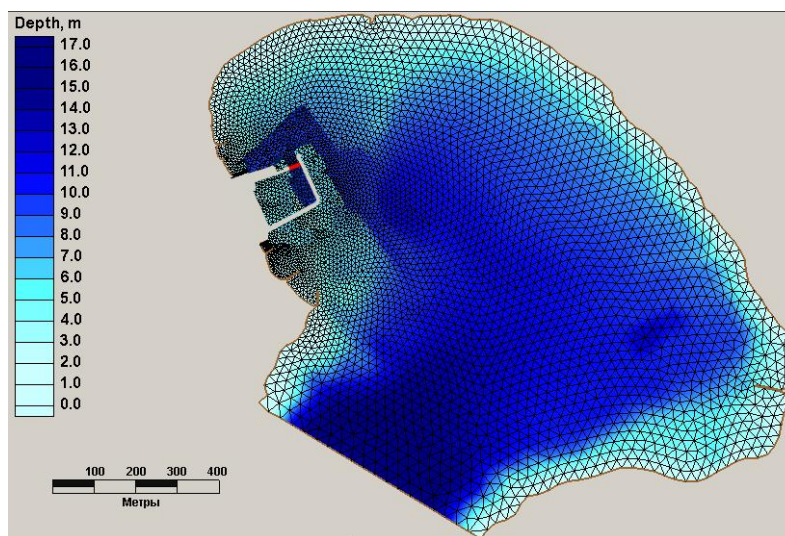


**Рисунок 4** - Средняя за период 1991-2011 температура воздуха для периода июль - август, и температура воздуха за этот период в 2010 году.



**Рисунок 5** - Роза ветров за июль-август 1991-2011 годов

Водообмен рассчитывался для вертикального сечения ворот порта, показанных красной линией на Рис. 6. Длина сечения – 90 метров, максимальная глубина 7,3 м.



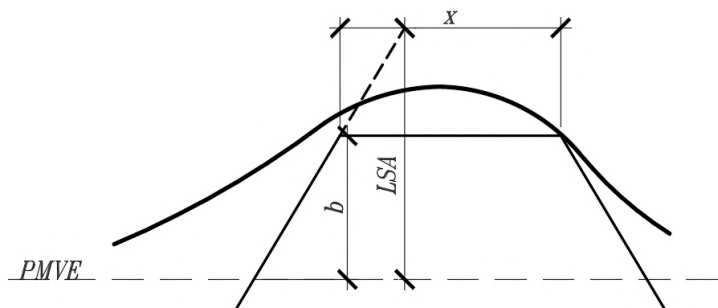
**Рисунок 6** - Положение вертикального сечения для расчета водообмена порта с Геленджикской бухтой.

Для изучения второго варианта повышения интенсивности водообмена, рассмотрим исследования рекомендательных документов международной организации PIANC. А именно, проектирование оградительных сооружений с пониженной отметкой верха таким образом, чтобы при сильных штормах происходил перелив через гребень оградительного сооружения. Такой подход предлагается в рекомендательных документах PIANC (Постоянно действующая международная ассоциация конгрессов по навигации) [4].

В данной подходе строительство оградительного сооружения осуществляется с пониженной отметкой гребня. Таким образом, примерно 1 раз в год, в период сильного



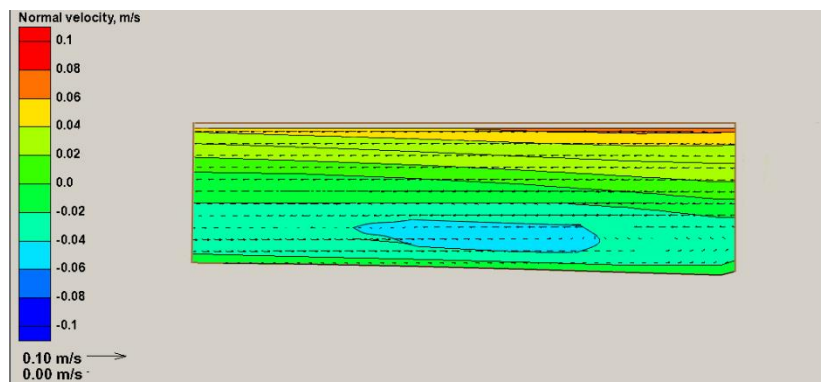
шторма, происходит перелив воды через гребень, тем самым достигается дополнительный водообмен закрытой части акватории с внешним морем (рис 7).



**Рисунок 7** - Схема перелива волн через гребень оградительного сооружения для повышения водообмена по рекомендациям PIANC

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данном разделе приведены результаты математического моделирования воздействия объекта строительства на водообмен Геленджикской бухты для заданной конфигурации сооружений.



**Рисунок 8** - Вертикальное сечение поля скорости в воротах порта. Стрелками обозначена циркуляция вдоль плоскости течения, цветом обозначена нормальная к сечению составляющая скорости. Положительные значения означают поток вод в порт

Расчеты показали, что водообмен является существенно трехмерным: в зависимости от направления ветра, вода втекает, либо вытекает в верхнем слое и вытекает, либо втекает в нижнем слое. На Рис. 8 приведен пример циркуляции во входном сечении в порт. Средний расход водообмена, определяемый площадью сечения ворот порта и расчетными скоростями, входного и выходного потока, составляет  $Q_6 = 2.71 \text{ м}^3\text{с}^{-1}$ . Среднее время водообмена,  $T_6$

(обновления вод в акватории порта), определяется расходом водообмена  $Q_e$  и объемом вод портового бассейна  $V$ :

$$T_e = V / Q_e \quad (1)$$

Оно составляет примерно трое суток, в условиях лета, характеризующегося относительно слабой ветровой циркуляцией.

В качестве способа увеличения интенсивности водообмена выбрано конструктивное решение.

Конструкция оградительных молов принята в виде сквозной конструкции эстакадного типа с высоким свайным ростверком со сплошной вертикальной стенкой из трубошпунта диаметром 820 мм со стороны внешней акватории и двумя рядами наклонных стальных свай с уклоном 10:1 диаметром 820 мм со стороны внутренней акватории. Конструктивный разрез отдельных частей мола приведен на Рис. 9.

Современные исследования показывают, что прибрежная часть Черного моря включает течение со средними скоростями 2-3 мили в сутки, что соответствует диапазону 3-5 см/с. Циркуляционное течение, которое может формироваться в Геленджикской бухте, в результате вовлечения водных масс бухты, будет иметь скорости на порядок ниже, т.е., максимально, около 0,1 см/с. Входной расход такого течения через ворота порта составляет около 0,8 м<sup>3</sup>/с или около 3000 м<sup>3</sup>/час.

Для пропуска этого расхода через отверстия в молах могут использоваться различные конструктивные решения, в том числе трубы диаметром 820 мм. Площадь отверстия отдельной трубы составляет 0,528 м<sup>2</sup>.

При определении потребного количества отверстий (труб) нужно учитывать следующие 2 фактора.

1) Малое количество отверстий приведет к формированию напорного уровня в акватории с повышением уровня к южному молу, что может быть недопустимо с точки зрения швартовки яхт. Наоборот, большое количество отверстий может нарушать прочность конструкции мола. Для оценки этого фактора можно использовать следующую формулу, получаемую из уравнения Бернулли:

$$(z_2 - z_1) / L = 0,016 * (2,3 / N^2 - 0,01), \quad (2)$$

Где:

$z$  – отметка уровня воды;

$L$  – размер портовой акватории от ворот до южного мола, примерно 300 м;

$N$  – число труб.

Максимальное количество труб в соответствии с этой формулой, при котором не будет заметного перекоса уровня составляет 16.

2) Второй фактор – возможное проникновение волн южных направлений на акваторию порта через проницаемый мол. Этот вопрос требует специального численного или лабораторного моделирования. Но, для отверстий 820 мм, трудно ожидать существенного проникновения штормовых волн.

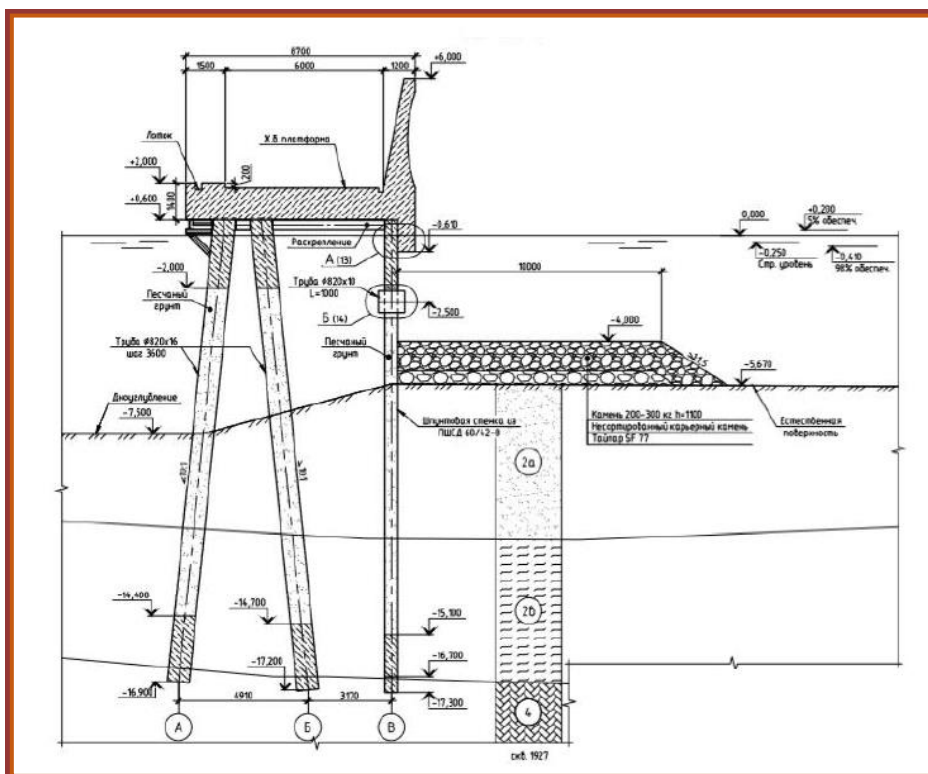


Рисунок 9 - Конструкция основной части Южного мола с дополнительными отверстиями

## ВЫВОДЫ

В качестве выводов по выполненной работе можно отметить следующее.

С помощью гидродинамической модели с открытым кодом (модель SELFЕ), представляющей собой конечно-элементную трехмерную гидростатическую бароклинную модель, предназначенную для моделирования прибрежных процессов, были рассчитаны поля течений в Геленджикской бухте для двух расчетных конфигураций: распределения глубин до строительства (Сценарий 1) и при наличии конструкций яхтенного порта Геленджик (Сценарий 2). На основе анализа архива метеорологических данных за 1991 – 2011 года по базе данных ERA-interim за июль-август для моделирования выбран экстремально теплый 2010 год, в предположении, что метеорологические условия в этом году наиболее

неблагоприятны для водообмена в районе объекта строительства. Расчеты проводились для июля-августа 2010 года.

Расчеты показали, что водообмен является существенно трехмерным: в зависимости от направления ветра вода втекает либо вытекает в верхнем слое и вытекает, либо втекает в нижнем слое.

Средняя интенсивность водообмена составила  $Q_e = 2,71 \text{ м}^3\text{с}^{-1}$ .

Среднее время водообмена (обновления вод в акватории порта) составило  $T_e = 2,97$  дня, в условиях лета, характеризующихся относительно слабой ветровой циркуляцией, что свидетельствует о неплохой вентиляции вод внутри порта и возможном, лишь незначительном ухудшении качества воды внутри объекта строительства.

Увеличения интенсивности водообмена достигается путем применения дополнительных отверстий в молах – трубы диаметром 820 мм.

С помощью проектирования волнореза с пониженной отметкой верха также можно обеспечить необходимый дополнительный пропуск расхода воды сквозь оградительное сооружение (перелив через гребень). Данный метод позволяет создавать более экономичную конструкцию, т.к. строительства сооружения с низкой отметкой верха используется меньше материалов. Однако, этот метод требует серьезных дополнительных исследований.

При этом имеется ряд недостатков. В период шторма возникает необходимость в предусмотрении достаточной защиты сооружения, а также в своевременной эвакуации яхт из опасной зоны воздействия переливающейся волны.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Отчет о НИР по теме: «Математическое и физическое моделирование волновых процессов по объекту «комплекс береговой и морской инфраструктуры в морском порту Геленджик»». Этап 2. «Математическое моделирование волнового режима на подходе к сооружениям порта и взаимодействия воли с оградительными сооружениями порта (остаточное волнение на акватории порта), водообмена, тягуноопасности, заносимости, для предложенной заказчиком конфигураций и конструкции портовых сооружений, в соответствии с требованиями СП 38.13330.2012, на акватории пассажирского района и акватории марины». НИУ МГСУ, 2018.

2. Комплекс береговой и морской инфраструктуры в морском порту Геленджик. Проектная документация вне состава проекта. Раздел 13. Научно-исследовательские работы и справочные материалы. Ч 1. Научно-исследовательские работы. Книга 1. Математическое моделирование волнового режима на подходе к гидротехническим сооружениям порта

(остаточное волнение на акватории порта), водообмена, тягуноопасности, заносимости. Т 13.1.1. - АО ЛенморНИИпроект, НИУ МГСУ, 2017.

3. Комплекс береговой и морской инфраструктуры в морском порту Геленджик. Проектная документация вне состава проекта. Раздел 13. Научно-исследовательские работы и справочные материалы. Ч 1. Научно-исследовательские работы. Книга 1. Математическое моделирование волнового режима на подходе к гидротехническим сооружениям порта и взаимодействия волн с оградительными сооружениями порта (остаточное волнение на акватории порта), водообмена, тягуноопасности, заносимости для предложенных конфигураций и конструкций портовых сооружений акватории пассажирского района и акватории марины. Т 13.1.1. - АО ЛенморНИИпроект, НИУ МГСУ, 2018.

4. Protecting water quality in marinas. PIANC report no.98 / PIANC. 2008. 22 p.

5. Бровченко И. А., Мадерич В.С., Терлецкая Е.В. Численное моделирование трехмерной структуры течений в районе глубоководных каньонов восточного побережья Черного моря. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, -2011.- 7 (2), 47-53.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ (РАЗ В 10 000 ЛЕТ) ВОЛН ДЛЯ РАСЧЕТА НАГРУЗОК НА ОГРАДИТЕЛЬНЫЙ МОЛ ПОРТА ПЕВЕК

**Кузнецов А.Н.**

*студент 6 курса 12 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Кантаржи И.Г.**

*доктор технических наук, профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

В настоящей статье, рассматривается определение высот экстремальных (раз в 10 000 лет) волн для расчета нагрузок на оградительный мол порта Певек, проектируемой для размещения в порту плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС). Основное требование проектирования: обеспечение надежной и безопасной эксплуатации плавучего атомного энергоблока (ПЭБ) ПАТЭС при экстремальных внешних воздействиях повторяемостью один раз в 10 000 лет.

Эту функцию должны выполнить гидротехнические сооружения (ГТС), в т.ч. специальный причал для установки ПЭБ и оградительный мол. В качестве рассматриваемого варианта компоновки ГТС предлагается апробированный и надежный вариант сочетания гравитационного оградительного сооружения (мола) Г-образной формы со специальным причалом для установки и раскрепления ПЭБ, расположенным с внутренней стороны мола.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Целью исследования является определение высот экстремальных (раз в 10 000 лет) волн для расчета нагрузок на оградительный мол порта Певек и выбора оптимальной компоновки и конструкции проектируемых ГТС. Основная последовательность работ состоит в следующем. На основе математических моделей динамики волн и льда в районе проектирования определяются поля расчетных характеристик внешних воздействий на проектируемые гидротехнические сооружения. Далее, эти результаты, вместе с техническими и экономическими факторами, учитываются для выбора окончательного варианта компоновки и конструкции проектируемых гидротехнических сооружений, по сравнению с возможными альтернативными. После выбора окончательного варианта, он проверяется с помощью математического и физического моделирования. На основе проведенных исследований, разрабатываются рекомендации по выбору рациональной

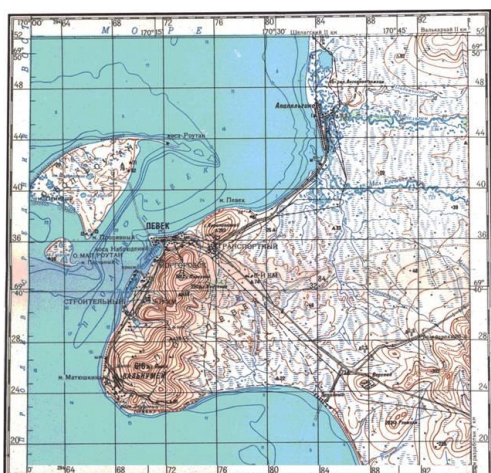
компоновки и конструкции гидротехнических сооружений ПАТЭС г. Певек.

Задачи данной статьи состоят в:

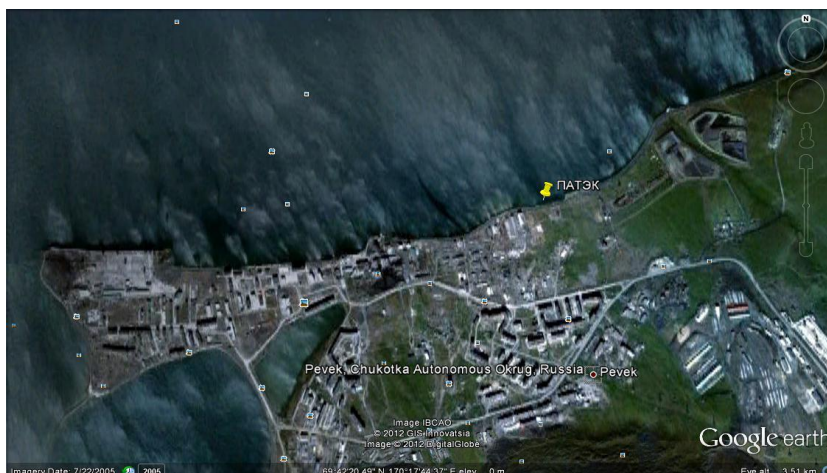
- консолидации, анализе, оценке и обобщению сведений и исходных данных по подбору оптимальной компоновки и конструкции проектируемых ГТС;
- математическом моделировании динамики волн в акватории, включающей места потенциального размещения ГТС и ПЭБ ПАТЭС;
- оценки обеспеченности экстремальных значений океанографических характеристик в условиях изменения климата.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Площадка под строительство береговых и гидротехнических сооружений для эксплуатации ПАТЭС на базе плавучего энергоблока пр. 20870, расположена в одном километре к северо-востоку от г. Певек. Обзорные карты района расположения ПАТЭС представлены на рис. 1 - 3.

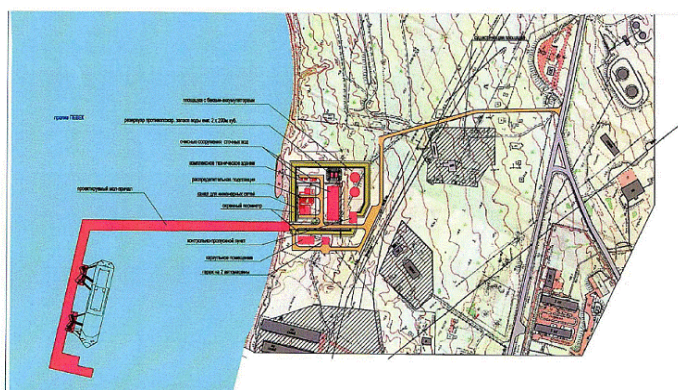


**Рисунок 1** - Район строительства.



**Рисунок 2** - Карта Google Earth региона размещения ПАТЭК.

Схема с расположением проектируемых сооружений  
по объекту «Плавучая атомная теплоэлектростанция на базе плавучего энергоблока проекта 20870 с реакторными установками  
КЛТ-40С в г.Певек Чукотского АО»



**Рисунок 3** - Рассматриваемый вариант размещения объекта.

Вследствие того, что объект исследования предназначается для эксплуатации ПАТЭС, которая, в свою очередь, является объектом экстремально повышенной ответственности, расчеты необходимо производить, учитывая обеспеченность волновых нагрузок 1 раз в 10 000 лет, с учетом изменения уровня моря по глобальным оценкам в связи с изменением климата, а также приливных и нагонных течений.

В современной мировой практике используются три метода статистического анализа экстремальных значений океанографических (гидрометеорологических) параметров, базирующихся на основе подходов, развитых в современной теории статистики экстремальных значений. Эти подходы рассматриваются на примере статистики экстремальных ветровых волн, с учетом того, что такие же подходы применимы для статистики экстремальных значений скоростей течений и других гидрометеорологических характеристик.

### **1. Метод распределений исходных рядов (МРИР)**

В рамках МРИР эмпирические функции распределения вероятностей (ФРВ) и кривые обеспеченности - интегральные функции распределения (ИФР) строятся на основании всего ряда наблюдаемых или смоделированных за расчетный период значимых высот волн. Графики ИФР или построенные на их основе аппроксимации, обычно используются для экстраполяции высот волн до экстремальных значений за пределы диапазона наблюдений, для того чтобы определить высоты волн повторяемостью раз в 100 лет или более редкой повторяемости. Слабые стороны МРИР, проявляются в том, что метод требует обработки больших наборов данных (наблюденные/моделируемые значения за каждый день или на несколько часов) и при этом, такие ряды содержат и статистически зависимые значения, принадлежащие к одному и тому же шторму. Лог-нормальное распределение и распределение Вейбулла широко применяются для расчета высот волн малой обеспеченности по МРИР.

### **2. Метод «Пики выше порогового значения» (peak-over-threshold- POT) / обобщенное распределение Парето (the generalised Pareto distribution - GPD)**

В POT методе из каждого шторма выбирается только максимальное (пиковое) значение высот волн. Шторм определяется как непрерывная последовательность значений высот волн, превышающих определенное высокое значение (пороговое значение высоты волн). В соответствии с теорией статистики экстремальных значений [7], распределения пиковых значений из такой выборки подчиняется обобщенному распределению Парето (GPD). Экстраполяция «хвостов» GPD используется для оценки высот волн редкой



повторяемости. Holthuijsen [9] указывает, что POT-GPD подход имеет два важных преимущества, по сравнению с МРИР:

- (а) если волновой климат содержит более одного распределения, в связи с существованием нескольких различных физических режимов формирования поля волн, построение статистики проводится только по высоким значениям выше пороговых, высоты волн малой повторяемости, определенные методом POT, точнее будут соответствовать именно статистике самых высоких значений, не затененных статистикой высот волн умеренной высоты;

- (б) при выборе из шторма только пикового значения, отсеются статистически зависимые значения внутри одного шторма, которые могут исказить статистику экстремальных волн малой повторяемости.

В России для статистики экстремальных волновых характеристик, метод POT под названием ПВМ (пики-выше-порога) применяется в ГОИН [9] с использованием распределения Вейбулла для аппроксимации распределений высот волн в полученной выборке «над порогом», а также в ИО РАН [11] для анализа статистики экстремально высоких волн по данным визуальных корабельных наблюдений.

### **3. Метод годовых максимумов МГМ**

Если выборка строится произвольным образом из исходных рядов, то в соответствии с теорией статистики экстремальных значений [7], распределение максимальных значений в такой выборке будет подчиняться обобщенному распределению экстремальных значений (generalised extreme-value (GEV) distribution). МГМ метод предполагает, что из многолетнего ряда наблюдений формируется ряд годовых максимумов. Параметры распределения GEV (три предельных случая которого, это распределения Вейбулла, Гумбеля и Фреше), могут быть оценены по обработке наборов данных годовых максимумов высот волн. Высоты волн экстремально редкой повторяемости, могут быть вычислены экстраполяцией соответствующих значений GEV распределений в области экстремальных значений.

В настоящем проекте, для расчета обеспеченности волн редкой повторяемости до 1 раза в 10 000 лет, использован метод - МГМ, применяемый к штормам за тридцатилетний период 1981-2010, распределение пиковых значений в которых будет аппроксимироваться с применением GEV (в виде распределения Вейбулла).

Оценке влияния глобальных изменений климата на динамику океанографических процессов в океане посвящено огромное количество работ, обобщение которых представлено в отчетах Международной комиссии по изменениям климата ООН [11], в

монографиях и обзорах [12]. Развитие дистанционных спутниковых методов наблюдений за состоянием Мирового океана, позволило систематизировать глобальные изменения в характеристиках экстремальных волн в океане [13]. Общепринятая методология расчетов океанографических параметров в условиях климатических изменений, основана на использовании проекций – сценариев глобальных метеорологических процессов в XXI веке, рекомендованных IPCC, с последующим расчетом глобальными океанологическими моделями изменений уровня моря. Результаты таких расчетов, относительно глобального изменения полей ветра и уровня моря, применяются для корректировки расчетов высот волн, скоростей течений и интенсивности размывов в районе строительства ПАТЭС.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1. Технологии математического моделирования полей ветровых волн в акватории размещения ПАТЭС**

Для расчетов характеристик волн в Восточно-Сибирском и Чукотском море, до глубоководной границы акватории ПАТЭС, использовались: модель SWAN, ветровые поля для расчета которых, основываются на данных реанализа NCEP/NCAR полей ветра в период с 1981 по 2011 годы, с привлечением для корректировок данных, уточненных по спутниковым наблюдениям и измерениям волн в регионе.

NCEP/NCAR реанализ – проект Национального центра прогнозирования окружающей среды - National Centers for Environmental Prediction (NCEP) гидрометслужбы США (NOAA) и Национального центра атмосферных исследований США (NCAR) по восстановлению полей метеозаэlements за последние более чем 40 лет на всем земном шаре, с использованием данных инструментальных наблюдений и результатов моделирования [14].

В качестве основного источника метеорологических данных после 1999 г., использовались метеорологические поля финального анализа, которые применялись для инициализации глобальных моделей прогноза погоды Национального центра прогнозирования окружающей среды США (NCEP). Эти поля рассчитываются системой глобального усвоения данных GDAS (Global Data Assimilation System).

Важным обстоятельством, в пользу выбора этих данных, послужило сравнительно высокое их разрешение (1 градус по сравнению с разрешением 2.5 градуса данных реанализа NCEP и ERA-40) и то, что помимо стандартных наблюдений, в этих данных усваиваются разнообразные спутниковые измерения, в том числе измерения приводного ветра, производимые с использованием микроволнового радиометра SSM/I [15], а также

другие измерения, производимые со спутников NOAA (с помощью приборов AMSU, HIRS) и геостационарных спутников GOES. Эти данные не использовались в расчетах реанализов NCEP R2 и R1, поэтому более предпочтительным является применение данных финального анализа. Данные финального анализа доступны с 1998 года. Для более ранних периодов (с 1990 г), использовались данные реанализа 2 NCEP [16], которые охватывают весь необходимый период.

Кроме того, был проведен даунскейлинг (динамическое интерполирование) данных о ветре из реанализа NCEP для нескольких наиболее сильных штормов для региона ПАТЭС метеорологической региональной моделью WRF, с разрешением сетки до 1\*1 км для оценки влияния такого даунскейлинга на точность расчета волновых характеристик на подходе к акватории ПАТЭС.

Результаты расчетов модели SWAN, используются как граничные условия для модели HWAVER-S - полуспектральной модели, которая, основываясь на уравнениях пологих склонов, позволяет успешно описывать дифракционные эффекты и эффекты отражения волн от оградительных сооружений, что является особенно важным для области, примыкающей к оградительным молам ПАТЭС.

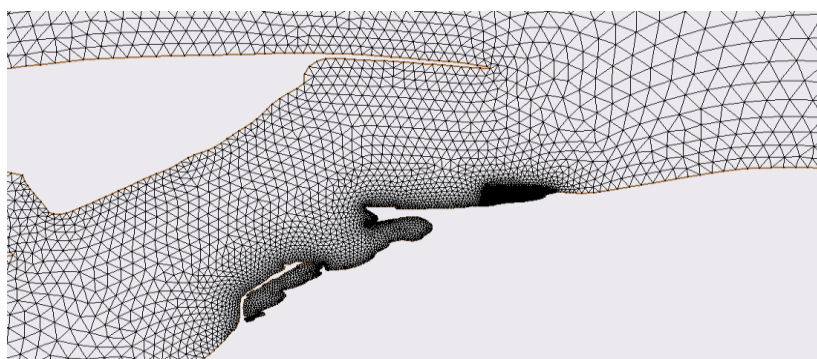
С учетом методологии POT, за указанный 20-летний период, были выбраны 30 самых сильных штормов и распределение пиковых значений, в полученной выборке, аппроксимируется с применением GEV и GPD распределений. При этом, в качестве расчетного значения высоты волн для каждой контрольной точки вблизи сооружений, рекомендовано наибольшее из значений обеспеченности 1 раз в 10 000 лет, из рассчитываемых этими двумя методами. Кроме того, аналогичные расчеты проведены для сценариев максимально возможного в XXI столетии шторма, с учетом поправок на изменения уровня моря и скорость ветра, в соответствии с существующими исследованиями климатических глобальных изменений.

Такая методология принята, исходя из того, что требования к расчетным характеристикам экстремальных волновых параметров 1 раз в 10000 лет, не означает, что надо рассматривать не период в 10 000 лет непрерывной работы ПАТЭС, а только риски реализации такого экстремального явления как волны шторма обеспеченности раз в 10 000 лет в течение XXI века, что и обосновывает использование сценариев изменений климата в XXI веке для расчета такой обеспеченности.

## **2. Расчетные сетки модели ветровых волн в акватории размещения ПАТЭС**

Расчеты ветровых полей проводились на неструктурированной сетке, покрывающей Восточно-Сибирское море с 150° до 178° В. долготы и на север до 80° Св.

широты (рис. 4). Количество узлов расчетной сетки - 94 143, элементов – 185 910. Линейный размер элементов в акватории ПАТЭС - около 2.5 м.



**Рисунок 4** - Фрагмент сетки для расчетов ветрового волнения в районе г. Певек.

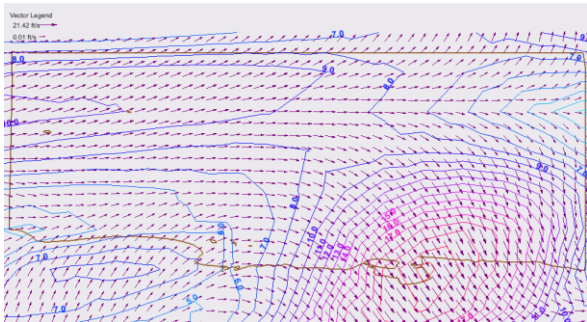
## **РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВЕТРОВЫХ ВОЛН В АКВАТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПАТЭС**

Для расчета экстремальных ветровых волновых полей за 30-ти летний период с 1981 по 2011 гг., было отобрано 37 штормовых сценариев (табл. 1).

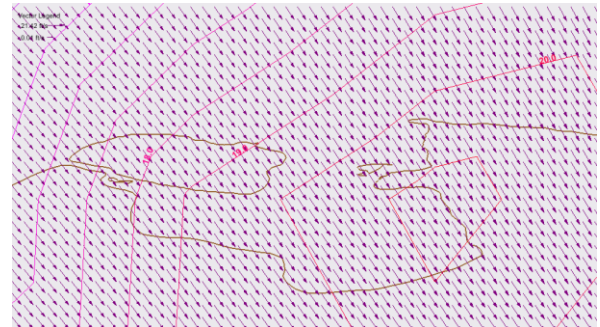
**Таблица 1** - Даты выбранных штормовых сценариев

	Начало шторма	Конец шторма		Начало шторма	Конец шторма
	1981.08.14	1981.09.01	19	1999.08.18	1999.08.22
	1981.09.23	1981.09.30	20	1998.09.13	1999.08.22
	1982.08.11	1982.08.28	21	1999.09.13	1999.09.30
	1983.08.17	1983.09.13	22	2000.08.15	2000.08.16
	1984.09.05	1984.09.22	23	2000.09.18	2000.09.30
	1985.09.09	1985.09.29	24	2001.08.13	2001.08.24
	1986.08.13	1986.08.24	25	2001.09.18	2001.09.28
	1987.09.06	1987.09.28	26	2002.08.15	2002.08.19
	1988.09.11	1988.09.30	27	2002.08.27	2002.09.20
	1989.08.03	1989.08.21	28	2003.09.03	2003.09.10
	1990.09.03	1990.09.24	29	2004.09.27	2004.09.29
	1991.09.08	1991.09.27	30	2005.09.03	2005.09.26
	1992.09.02	1992.09.16	31	2006.08.18	2006.09.14
	1993.08.30	1993.09.21	32	2008.07.01	2008.07.09
	1994.09.05	1994.09.28	33	2008.08.25	2008.08.27
	1995.09.06	1995.09.30	34	2009.08.17	2009.09.08
	1996.08.14	1996.09.02	35	2010.09.12	2010.09.30
	1997.08.04	1997.09.25	36	2011.08.02	2011.08.13
	1999.08.18	1999.08.22	37	2011.09.06	2011.09.14

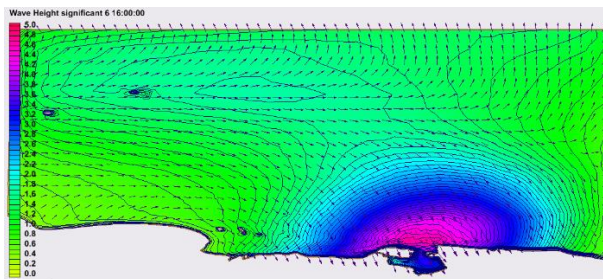
Выбирались те периоды экстремальных ветров с июля по сентябрь, в которых средняя скорость ветра в районе Чаунской губы превышала 10 м/с. Результаты расчетов волнового поля для этой даты приведены на рис. 5 - рис. 8 (карты построены в географической системе координат – широта-долгота).



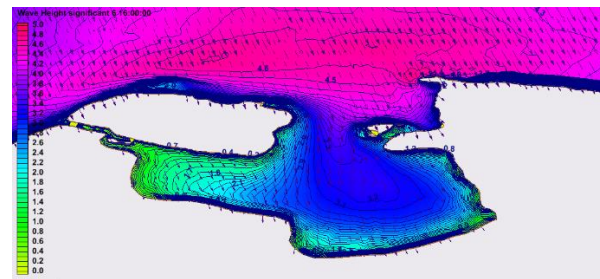
**Рисунок 5** - Поле ветра 07.07.2008 над Восточно-Сибирским морем



**Рисунок 6** - Поле ветра 07.07.2008 для района Чаунской губы

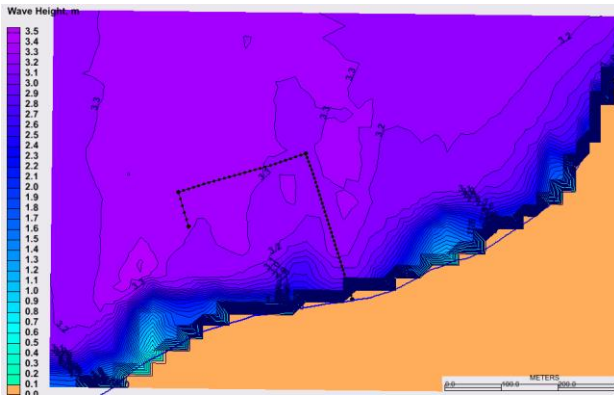


**Рисунок 7** - Высоты и направления значительных волн во время шторма 09.12.1997 18.00 в регионе Восточно-Сибирского моря

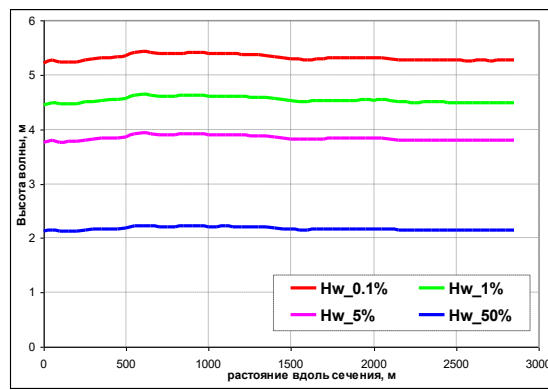


**Рисунок 8** - Высоты и направления значительных волн во время шторма 07.07.2008 в Чаунской губе

Для построения экстремальных волновых полей различной повторяемости, были отобраны максимальные за каждый год значения высот волн в 993 точках-узлах прямоугольной сетки с размером ячейки 22 м для района акватории ПАТЭС. Для каждой точки сетки были получены параметры распределения Вейбулла, по которым были вычислены значения высот волн редкой повторяемости. Карты возможных больших ветровых волн повторяемости 1 раз в 5, 10, 25, 50, 100, 1000, 10000 лет, приведены на рис. 9, 10 (карта построена в метрической системе координат). Точками показано расположение предполагаемых волнозащитных молов ПАТЭС.



**Рисунок 9** - Высоты значительных волн, возможных раз в 10000 лет



**Рисунок 10** - Высоты вдоль сечения 0.1%, 1%, 5%, 50% волн, возможных раз в 10000 лет

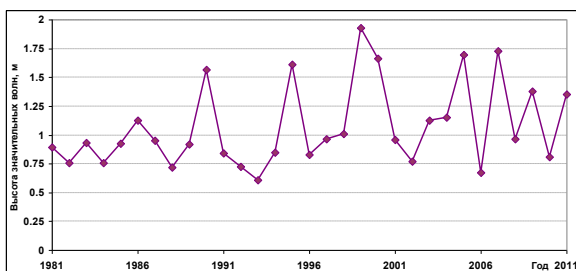
Высоты волн 50%, 5%, 1%, 0,1% обеспеченностей (обеспеченность в системе шторма), были рассчитаны по формуле Глуховского [17] для волн редкой повторяемости:

$$\frac{h}{\bar{h}} = \left[ -\frac{4}{\pi} (1 + 0,4h^*) \ln F_h \right]^{\frac{1-h^*}{2}} \quad (1)$$

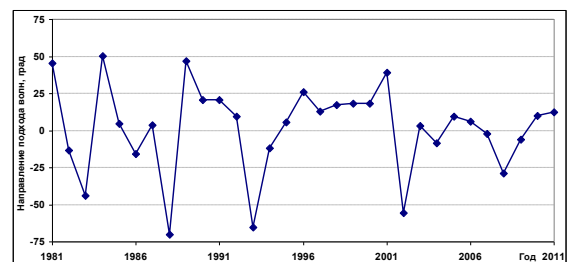
где  $h$  - высота волн заданной обеспеченности,  $h^* = \bar{h}/D$ ,  $F_h$  - обеспеченность высоты волны (доли единицы),  $D$  – фактическая глубина места (м).

Средняя высота волны ( $\bar{h}$ ) была вычислена итерационно по формуле (1) из высоты значительных или 13% волн. Графики распределения высот волн 50%, 5%, 1%, 0,1% обеспеченностей возможных раз в 5, 10, 25, 50, 100, 1000, 10000 лет, показаны на рис. 11-14.

Усредненные вдоль сечения на 10 м изобате максимальные годовые значения высот волн за каждый год с 1981 по 2011, показаны на графике рис. 11. Соответствующие этим высоким волнам направления, изображены на рис. 12, периоды на рис. 13, длины волн – на рис. 14. Как видно на рис. 11 и рис. 12, самые большие волны имеют С и ССВ направления (от 0° до 25°), хотя годовые экстремальные волны могут иметь и СВ (-70° - 0°) и СЗ (30° - 50°) направления.

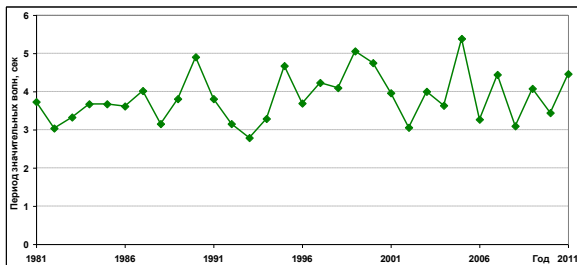


**Рисунок 11** - Средняя вдоль сечения на 10 м изобате высота значительных максимальных



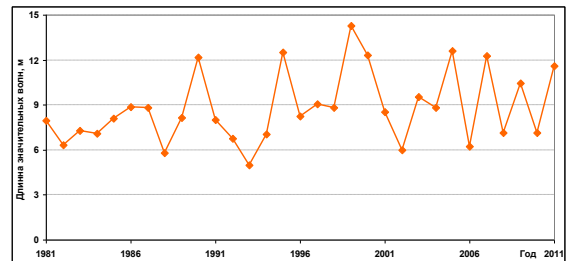
**Рисунок 12** Среднее вдоль сечения на 10м изобате направления

годовых волн за период 1981-2011 гг.



**Рисунок 13** Средний вдоль сечения на 10м изобате период значительных максимальных годовых волн за период 1981-2011 гг.

распространения фронта максимальных годовых волн за период 1981-2011 гг. (Наутикальная система отсчета, 0° – с Севера на Юг, положительное направление - по часовой стрелке)



**Рисунок 14** Средняя вдоль сечения на 10м изобате длина значительных максимальных годовых волн за период 1981-2011 гг.

Для расчетов периодов и длин волн редкой повторяемости в системе шторма также были построены распределения Вейбулла по рассчитанным волновой моделью значениям средних периодов и длин значительных волн, соответствующим максимальным высотам волн. Периоды волн разной обеспеченности (таблица 3) определялись согласно таблице 2 из справочника Ветер и волны, 1974 [3].

**Таблица 2.** Соотношение между периодом  $\square_{ass}$ , соответствующим средней высоте волны 1 раз в  $n$  лет и периодами  $\square_p$ , соответствующими высотам волн  $p = 13, 3, 1, 0.1\%$  обеспеченности, возможным 1 раз в  $n$  лет

<b>p, %</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0.1</b>
$\square/\square_{ass}$	1,05	1,10	1,13	1,15

**Таблица 3** - Средние вдоль сечения на 10м изобате периоды волн различной обеспеченности и повторяемости

<b>Повторяемость, раз в N лет</b>	<b>Обеспеченность волн</b>				
	<b>50%</b>	<b>13%</b>	<b>5%</b>	<b>1%</b>	<b>0.1%</b>
5	4.38	4.60	4.78	4.95	5.04
10	4.74	4.97	5.16	5.35	5.45
25	5.13	5.39	5.59	5.80	5.90
50	5.39	5.66	5.88	6.09	6.20
100	5.63	5.91	6.14	6.36	6.48

1000	6.32	6.64	6.89	7.15	7.27
10000	6.91	7.25	7.53	7.81	7.94

При расчете средней длины волны  $\bar{\lambda}$  использовалась формула:

$$\bar{\lambda} = \frac{g\bar{\tau}^2}{2\pi} \ln \frac{2\pi D}{\bar{\lambda}}, \quad (2)$$

где  $\bar{\tau}$  - средний период. Длины волн разной обеспеченности определялись по средней длине волны ( $\bar{\lambda}$ ) с использованием формулы Глуховского Б.Х. [17].

$$\frac{\lambda}{\bar{\lambda}} = \left[ -\frac{4}{\pi} (1 + 0,4\lambda^*) \ln F_n \right]^{\frac{1-\lambda^*}{2}}, \quad (3)$$

где  $\lambda$  - длина волн с заданной обеспеченностью,  $\lambda^*$  определяется в таблице 6 по  $\lambda_D = \frac{2\pi H}{\lambda}$ . Средняя длина волны (по аналогии с высотами), была рассчитана из значений длины значительной (13%) волны.

**Таблица 4.** Связь между  $\lambda^*$  и  $\lambda_D$

$\lambda_D$	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
$\lambda^*$	0,5	0,44	0,37	0,3	0,225	0,16	0,12	0,09	0,065	0,045	0,02	0,01	0

Результаты расчетов для длин волн редкой повторяемости и различной обеспеченностей приведены в таблице 5.

**Таблица 5.** Средняя вдоль сечения на 10м изобате длина волн различной обеспеченности и повторяемости

Повторяемость, раз в N лет	Обеспеченность волн				
	50%	13%	5%	1%	0.10%
<b>5</b>	29.57	39.29	43.47	48.68	54.16
<b>10</b>	33.86	44.90	49.65	55.55	61.76
<b>25</b>	38.65	51.17	56.54	63.23	70.25
<b>50</b>	41.82	55.31	61.10	68.30	75.87
<b>100</b>	44.70	59.08	65.25	72.92	80.97
<b>1000</b>	52.85	69.75	76.99	85.98	95.43
<b>10000</b>	59.60	78.58	86.70	96.79	107.39

## ВЫВОДЫ

Для расчета нагрузки от волн на гидротехнические сооружения станции, рекомендуется принимать на подходе к сооружению, при глубине воды 10 м, высоту волн в режимном шторме повторяемостью один раз в 10000 лет, обеспеченностью в системе шторма 1% - 4,6 м, обеспеченностью 0,1% - 5,4 м, средний период волн – 6,91 с,



направление волн – С-ССВ. При необходимости, для расчетов может использоваться период волн 1% обеспеченности – 7,81 с, и период волн 0,1% - 7,94 с, при повторяемости 1 раз в 10 000 лет.

1. Разработана числовая модель генерации и трансформации волн на основе адаптации модели SWAN на неструктурированной сетке, покрывающей Восточно-Сибирское море с 150° до 178° В. долготы и на север до 80° Св. широты. Ячейки сетки сгущаются к акватории ПАТЭС, уменьшаясь в этом регионе до характерного размера: около 2.5 м. Для расчета экстремальных ветро-волновых полей за 30-ти летний период с 1981 по 2011 гг., было отобрано 37 штормовых сценариев. Выбирались те периоды экстремальных ветров с июля по сентябрь, в которых средняя скорость ветра в районе Чаунской губы превышала 10 м/с. Получены поля волн для всех указанных штормов в регионе ПАТЭС, статистическая обработка которых, позволила получить волновые поля значимых (13% в системе шторма) волн повторяемостью в 5, 10, 25, 50, 100, 1000 и 10000 лет. На расстоянии примерно 300 м от берега, высота значительных волн указанной повторяемости изменяется в диапазоне от 1.3 м до 3.4 м. Рассчитаны высоты волн 50%, 5%, 1%, 0,1% обеспеченностей в системе шторма в той же области. Для волн 1% обеспеченности при повторяемости раз в сто лет, высота волн достигает 3.1 м, раз в 1000 лет - 4 м, раз в 10000 лет - 4.5 м. При этом, на 10 м изобате в акватории ПАТЭС, максимальная высота значимых (13%) волн не превысила за анализируемый 30 летний период 2 м. Самые высокие волны имеют С и ССВ направления (от 0° до 25°), хотя годовые экстремальные волны могут иметь и СВ (-70° - 0°) и СЗ (30°-50°) направления.

2. Периоды волн повторяемостью от 5 до 100 лет, при обеспеченности в системе шторма от 50% до 0.1% в акватории ПАТЭС, изменяются в диапазоне 4.4 - 6.5 сек, а для волн повторяемостью раз в 10000 лет, периоды достигают 7.8 сек.

3. Поля высот волн в районе проектирования достаточно неоднородны, целесообразно учитывать этот факт при выборе места расположения причала. Высота волн в шторме повторяемостью 1 раз в 10000 лет обеспеченностью 1%, составляет около 5 м. Это значение существенно выше высот волн в шторме повторяемостью 1 раз в 100 лет.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Научно-технический отчет, «Ледовые условия и оценки возможных ледовых нагрузок на защитные сооружения около АЭС на побережье Восточно-Сибирского моря», ГУ ААНИИ, Петербург, 2010;

2. «Плавучая атомная теплоэлектростанция на базе плавучего энергоблока проекта 20870 с реакторными установками КЛТ-40С в г.Певек Чукотского АО» Проектная документация. ОАО «СОЮЗМОРНИИПРОЕКТ» и ФГБОУ ВПО «Московский Государственный Строительный Университет» («МГСУ»), 2014;
3. Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные. /Ред. И.Н. Давидан, Л.И. Лопатухин, В.А. Рожков Л., «Транспорт», Регистр СССР, 1974, 358 с;
4. Глуховский Б.Х. Исследование морского ветрового волнения. - Л. Гидрометеиздат, 1966.
5. Демченко Р., Железняк М., Кивва С., Коломиец П., Хомицкий В. Гидродинамика прибрежной зоны Черного моря в районе устья рук. Быстрый Килийской дельты р.Дунай: 1. Трансформация волн на неоднородностях дна и течениях // Прикладная Гидромеханика, т.8(80), №4, 2006;
6. Демченко Р., Коломиец П., Сорокин М., Моделирование трансформации волн в прибрежной зоне шельфа с помощью полу-спектральной модели HWAVER-S, 2010. «Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС, 2010»;
7. Coles, S., An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer Verlag, Berlin, 2001;
8. Leo H. Holthuijsen, Technische Universiteit Delft, The Netherlands, Cambridge University Press, 2007;
9. Матушевский Г. В., Кабатченко И. М. Современная концепция определения экстремальных характеристик ветровых волн и связанных с ним процессов (ветер, течения, уровень) путем анализа штормовых выборок. - Метеорология и гидрология, 1999;
10. Гулев С.К., Катцов В.М., Соловмина О.Н. Вестник РАН. 2006;
11. Climate Change, the IPCC Fourth Assessment Report, 2007;
12. Alexander and Tebaldi, 2012; Lowe et al. 2010; Weisse and von Storch и др., 2010;
13. Young, et al., Brown University, 2011;
14. Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., et al., The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bulletin of the American Meteorological Society, 1999;
15. Okamoto and Derber, 2005;
16. Kanamitsu, et. al., 2002;
17. Исследование морского ветрового волнения, Глуховский Б.Х., 1966.

## **ВОДОСБРОСНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ГИДРОУЗЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ**

**Гармашов А. В.**

*студент 4 курса 1 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Орехов Г.В.**

*доктор технических наук, профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ*

### **Аннотация**

В состав любого гидроузла входит водосбросная система, которая предназначена для сброса холостых расходов из верхнего бьефа в нижний. В зависимости от компоновки гидротехнических сооружений, их основных параметров, топографических и геологических особенностей створа водосбросные системы могут быть безнапорными, поверхностными или напорными, с использованием напорных проточных частей (трубопроводов или туннелей). По расположению в составе гидроузла, водосбросы могут располагаться в напорных сооружениях или в береговых массивах. Исходная потенциальная энергия сбросных масс воды при переходе на нижние отметки преобразуется в кинетическую энергию, характеризуемой скоростью течения. Эта кинетическая энергия может быть весьма большая (в зависимости от действующего напора), а такой высокоэнергетический поток воды, взаимодействуя с элементами строительных конструкций гидротехнических сооружений приводит к их разрушению. Поэтому на водосбросных системах необходимо устанавливать гасители кинетической энергии. В практике гидротехнического строительства широко применяются такие конструкции, как водобойный колодец или водобойная стенка, отброс струи сбрасываемой воды, ступенчатые конструкции, позволяющие гасить энергию по всей длине проточного тракта.

В последнее время ведутся работы по созданию гасителей энергии высокоскоростных потоков с использованием закрученных потоков. Закрученные потоки, в отличие от обычных, осевых, имеют ряд эффектов, которые успешно могут применяться для решения задач, связанных с эффективным гашением кинетической энергии потоков. В статье рассматривается работа так называемых контрвихревых гасителей энергии, конструкция которых принципиально отличается от известных. Приводятся различные функциональные зависимости основных параметров гасителя, характеризующих его работу.

**Ключевые слова.** Гидротехнические сооружения, водосбросы, гашение кинетической энергии потока, скорости течения, гидравлическое сопротивление.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Любые гидротехнические имеют в своём составе водосбросные системы, которые предназначены для транспортирования водных масс с отметок верхнего бьефа в нижний. Основные схемы сброса воды в нижний бьеф следующие: поверхностная безнапорная схема [1], напорная глубинная [2] или донная [3]. Наиболее распространённым гасителем энергии в практике гидротехнического строительства является водобойный колодец [4]. Часто используется другая схема – с отбросом струи от гидротехнических сооружений в сторону нижнего бьефа [5]. В зависимости от напора плотины, удельного расхода сбрасываемой воды, скорости течения, топографических и геологических особенностей основания водосброса, используют ступенчатую конструкцию поверхности [6] или в виде различных гасящих стенок, расположенных в определённом порядке (например, в шахматном) [7]. Такое выполнение проточной части водосброса является одновременно и гасителем энергии потока, растянутым по всей длине водосброса [8].

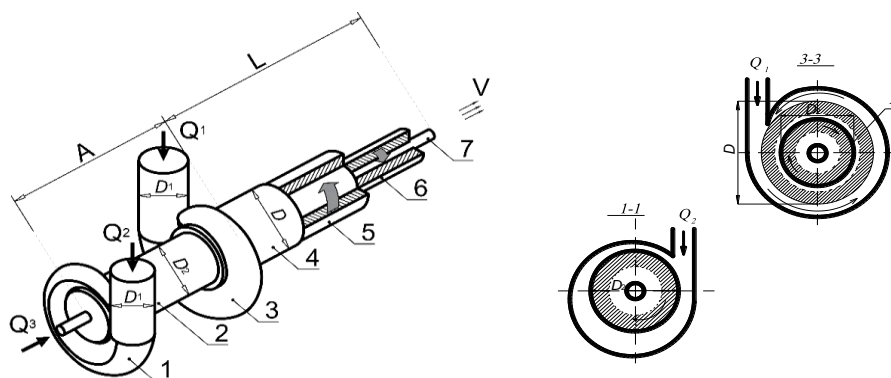
В рассмотренных выше примерах диссипация энергии потока происходит за счёт вихреобразования при изменении режима течения в сопрягающем устройстве (гасителе), соударении струй, гидродинамического взаимодействия с твёрдым телом строительной конструкции [9]. В нижнем бьефе гасится энергия воды, которая может достигать очень больших значений. Примером может служить Жигулёвская ГЭС. Пропуск в паводок через водосбросные сооружения этого гидроузла расхода воды более 60 000 м<sup>3</sup>/с гасится поток мощностью порядка  $7 \times 10^6$  кВт. Эта величина в три раза больше мощности всех установленных гидроагрегатов на станции [10]. Воздействие скоростных сбрасываемых потоков на элементы сооружения связано с проявлениями кавитации и, как следствие, кавитационной эрозии [12]. При сбросах высокоскоростных масс воды могут возникать такие явления, как аэрация [13], волнообразование [14], которые тоже надо учитывать при проектировании и эксплуатации гидроузлов. Известны случаи, связанные с полным разрушением или разрушением частей водосброса или инфраструктуры нижнего бьефа [15], например, события 2012 года на плотине Оровилл (США) [16].

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Течение с коаксиально расположенными и противоположно вращающимися слоями жидкости или газа, расположенными в круглоцилиндрической трубе является сложным, искусственно созданным течением, которое получило название контрвихревое. У этого течения имеется ряд эффектов, которые могут использоваться в различных гидравлических

задачах. Эффективным способом исследования таких течений является физический эксперимент с применением моделей.

Одна из возможных схем такого течения показана на рис. 1. Данная конструкция позволяет организовать двуслойное контрвихревое течение в круглой цилиндрической камере (трубе).



**Рисунок 1** - Схема двуслойного контрвихревого гасителя энергии высоконапорного гидротехнического водосброса с тангенциальными завихрителями.  $A$  – зона подвода воды к гасителю энергии и формирование закрученных потоков до их взаимодействия, образование полостей разрыва с давлением ниже атмосферного ( $P_0$ );  $L$  – область взаимодействия потоков в камере гашения: 1 – завихритель внутреннего закрученного потока; 2 – завихритель периферийного закрученного потока; 3 – внешний закрученный поток; 4 – внутренний закрученный поток; 5 – осевой поток воды; 6 – цилиндрическая камера гашения;  $Q_1, Q_2, Q_3$  – расходы воды, подаваемые к устройству из напорной системы;  $V$  – скорость потока

В ходе эксперимента измерялись следующие параметры:  $Q$  – расход воды, проходящий через модель на разных режимах,  $H$  – напор,  $P$  – давление на стенках проточной части. На основании полученных данных рассчитывались:  $\eta$  – коэффициент гашения энергии потока,  $\zeta$  – коэффициент гидравлического сопротивления системы.

Можно заметить, что в устройстве имеется несколько типов движения транзитного потока, принципиально отличающихся друг от друга. Поток, поступающий в контрвихревое устройство, претерпевает ряд последовательных трансформаций: исходное напорное равномерное продольное течение переходит в циркуляционное и равномерное циркуляционно-продольное течение. Далее по течению, поток переходит в неравномерное контрвихревое течение. В результате затухания последнего в результате действия сил вязкости поток возвращается к равномерному продольному течению.

Одним из наиболее важных практических вопросов, возникающих при рассмотрении характеристик контрвихревых устройств, это их энергогасящая способность. Энергогасящая способность может определяться коэффициентом гашения энергии, приведенным к общему напору на закручивающих устройствах

$$\eta = 1 - \frac{v^2}{2ghH}$$

где:  $v$  - среднерасходная скорость течения,  $H$  - общий напор, определяемый как разность давлений в потоках перед закручивающими устройствами и в отводящем канале (рис. 1).

Эффективность контрвихревых систем может оцениваться, помимо коэффициента гашения энергии, также традиционным методом через коэффициент гидравлического сопротивления

$$\zeta = \frac{2g\Delta h_{w\Sigma}}{v^2}$$

где:  $\Delta h_{w\Sigma}$  – суммарные гидравлические потери проточного тракта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Одним из эффектов контрвихревого течения является чрезвычайно высокая способность гасить кинетическую энергию потока жидкости или газа за счёт сил внутреннего трения движущихся слоёв. Такие силы присутствуют в любом турбулентном течении за счёт естественной турбулентности потока и массообменных процессов. Но уровень гашения энергии не высокий и определяется гидравлическими сопротивлениями. Контрвихревое течение организовано таким образом, что уровень турбулентности во взаимодействующих закрученных потоках, расположенных коаксиально резко возрастает и, как следствие, весьма значительно увеличиваются силы сопротивления внутри жидкости. Это приводит к тому, что исходная кинетическая энергия потока быстро уменьшается и переходит в тепло. Для установления количественных характеристик такого течения были проведены модельные исследования, результаты которых показаны ниже.

Основная задача исследований сводилась к определению расходных и энергогасящих показателей контрвихревого течения, которое применяется в конструкции водосбросов гидротехнических сооружений.

К основному параметру любого водосброса можно отнести значение расхода, который проходит через водосбросную конструкцию. Как правило пропускная способность водосбросной системы характеризуется коэффициентом расхода в формуле

$$Q = m\omega\sqrt{2gH}, \quad (1)$$

или

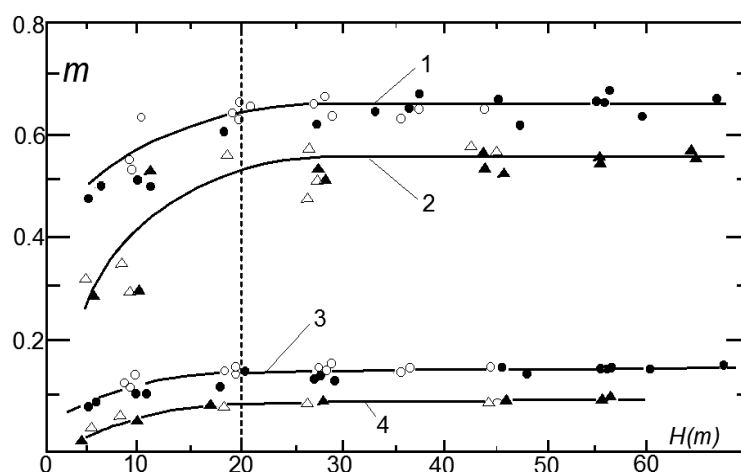
$$m = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gH}}, \quad (2)$$

где  $Q$  – расход в  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $m$  – коэффициент расхода;  $\omega$  – площадь поперечного сечения проточного тракта в  $\text{м}^2$ ;  $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ ;  $H$  – напор в м в. ст.

На рис. 2 показаны результаты модельных исследований на экспериментальном стенде

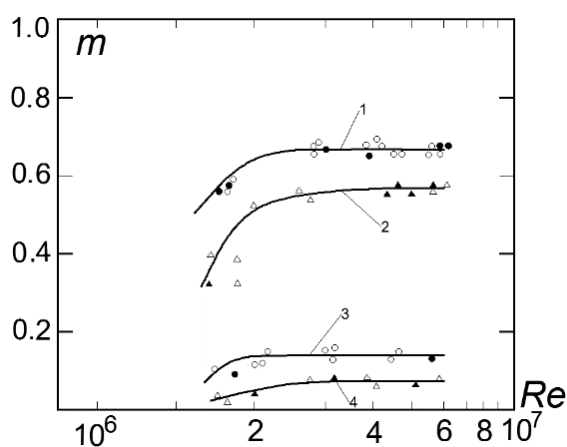
по определению коэффициента расхода  $m = f(H)$  контрвихревого гасителя для различных режимов работы устройства в зависимости от действующего напора  $H$ . Данные получены для модели в диапазоне напоров от 5 до 70 м в. ст. Исследовались два режима течения: с подводом центральной струи и без подвода центральной струи.

Зависимости 1 и 2 на графике  $m = f(H)$  соответствуют работе всех трёх каналов гасителя: локального завихрителя внешнего закрученного потока  $Q_1$ , локального завихрителя внутреннего закрученного потока  $Q_2$ , канала центральной струи  $Q_3$ . Через гаситель проходит суммарный расход  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ . Из графика видно, что при включении центральной струи значение коэффициента расхода  $m$  достигает значения 0,65. При отключении центральной струи, то есть при  $Q_3=0$ , коэффициент расхода снижается и доходит до значения  $m=0.15$ . График так же показывает, что значение коэффициента расхода при напорах более 20 м в. ст. практически не изменяется, что указывает на то, что область автомодельности контрвихревого течения наступает достаточно быстро.



**Рисунок 2** - Коэффициент расхода  $m = f(H)$  для режима с подводом центральной струи: 1 и 2 – режим работы с подводом центральной струи,  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ ; 3 и 4 – режим работы без подвода центральной струи,  $Q = Q_1 + Q_2$

Представляет практический интерес зависимость коэффициента расхода  $m$  контрвихревого гасителя от чисел Рейнольдса  $Re$ . На рис. 3 показаны графики зависимости  $m = f(Re)$  в диапазоне чисел Рейнольдса от  $10^6$  до  $10^7$  для тех же режимов, что и на рис. 2.



**Рисунок 3** - Коэффициент расхода  $m = f(Re)$  для режима с подводом центральной струи: 1 и 2 – режим работы с подводом центральной струи,  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ ; 3 и 4 – режим работы без подвода центральной струи,  $Q = Q_1 + Q_2$

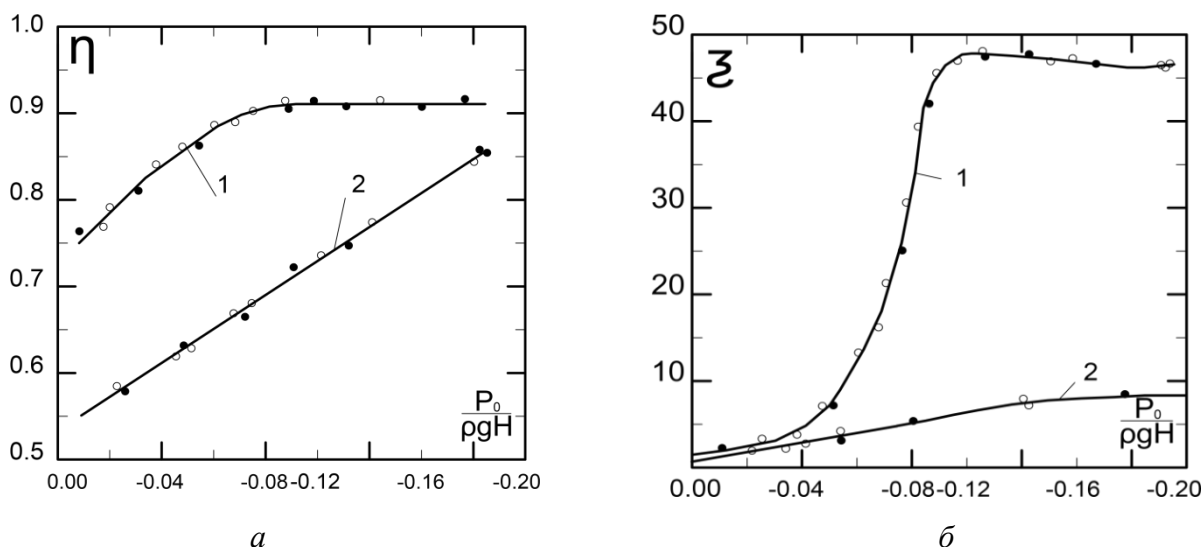
Из графика видно, что режим автомодельности, когда коэффициент расхода не изменяется с увеличением чисел Рейнольдса наступает при значении примерно  $2 \cdot 10^6$ .

Графики на рис. 2 и 3 показывают, что условия автомодельности по напору и числам Рейнольдса гарантированно достигаются при значениях  $H \geq 20 м$  и  $Re \geq 2.0 \cdot 10^7$ . Данное обстоятельство указывает на то, что условия автомодельности по Рейнольдсу в контрвихревых течениях наступают существенно раньше, чем для осевых потоков. Это связано с высокой искусственной турбулизацией течения при взаимодействии коаксиально расположенных слоёв жидкости в камере гашения противоположно закрученных потоков. Здесь степень турбулизации потоков значительно более высокая, чем естественная турбулентность осевых течений, определяемая числами Рейнольдса.

Эксперименты позволяют сделать важный вывод о том, что разделенные обтекателем (поз. 2 на рис. 1) локальные завихрители взаимного влияния на работу друг друга фактически не оказывают. Существенные подпоры являются важным фактором, препятствующим развитию кавитации на обтекаемых потоком поверхностях конструктивных элементов напорного участка проточного тракта контрвихревой системы.

Центральным вопросом, подлежавшим экспериментальному изучению в процессе описываемых гидравлических исследований, было определение энергогасящей способности контрвихревых водосбросов, отражающей их эффективность как гасители энергии (рис. 4).





**Рисунок 4** - Параметры степени гашения: *а* – зависимость коэффициента гашения  $\eta$  от вакуума в осевой зоне камеры гашения, *б* – зависимость коэффициента сопротивления контрвихревой системы  $\xi$  от вакуума в осевой зоне камеры гашения

Значения коэффициента гашения энергии определялись по измерениям глубины потока в отводящем безнапорном лотке на выходе из камеры смешения. Такое определение коэффициентов гашения энергии оказалось возможным в связи с тем, что на исследованных режимах работы модели в безнапорном лотке устанавливалось практически осевое течение с достаточно гладкой свободной поверхностью. Это указывает на то, что взаимодействующие потоки практически полностью гасят закрутку друг друга, и на то, что этот процесс весьма интенсивен, ибо камера смешения длиной всего шесть ее диаметров оказалась вполне достаточной для его завершения.

Кроме коэффициента гашения энергии эффективность контрвихревой системы может оцениваться также традиционным методом через коэффициент гидравлического сопротивления. Результаты исследований показывают, что эффективность гашения энергии при взаимодействии коаксиальных противоположно закрученных потоков весьма высока, достигая на исследованной модели 90-98% от напора. Обращает на себя внимание эффект резкого усиления гашения энергии с увеличением относительного вакуума  $P_0/\rho gH$  на режимах без подвода осевого потока в камеру смешения.

Основные особенности параметров контрвихревых систем гашения энергии следующие:

- коэффициент расхода  $m$  исследованной контрвихревой системы гашения находятся в диапазоне от 0,15 без центральной струи до 0.65 с включённой центральной струёй.
- эффективность гашения энергии при взаимодействии коаксиальных

противоположно закрученных потоков весьма высока, достигая значения 90-98% от напора. Коэффициент гашения  $\eta$  возрастает: с увеличением вакуума в центральной зоне контрвихревого течения на входе в камеру смешения, при переходе от режимов работы с центральной осевой струей к режимам работы без центрального потока. Гашение происходит на очень малом участке длины камеры, который составляет 6-8 радиусов камеры гашения.

## ВЫВОДЫ

1. Пропускная способность гасителей кинетической энергии потока, использующих эффекты контрвихревых течений, существенно зависит от режимов работы. При включении центральной струи достигается наивысшая пропускная способность.

2. Имея ввиду высокую турбулизированность потока, автомодельность наступает существенно раньше, чем это наблюдается в системах с осевыми продольными потоками.

3. Степень гашения энергии контрвихревых систем очень высокая. Энергия потока в камере гашения гасится на длине 6-8 диаметров канала. Коэффициент гашения на некоторых режимах доходит до 96-97% от исходной.

4. Коэффициент гидравлического сопротивления, являющийся обратной величиной коэффициенту гашения энергии, доходит до значений  $\xi = 50$ .

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Volshanik V.V., Zuikov A.L., Orekhov G.V., Churin P.S.* Skip idling costs through the turbine flow medium or high pressure HPS. "Hydraulic engineering", Part 1, 2013, №4. p. 51-56; Part 2, 2013, №5. p.32-40.
2. *Churin P., Kapustin S., Orekhov G., Poddaeva O.* Experimental Studies Counter Vortex Flow Modeling // Applied Mechanics and Materials. — 2015. Vol. 756. — P. 331–335
3. *Akhmetov V.K., Volshanik V.V., Zuikov A.L., Orekhov G.V.* Modelling and calculation counter vortex currents Edited by Zuikov A.L. М.: MSUCE, 2012, 252 p.
4. *Mattingly J. D., Oates G. S.* An Investigation of the Mixing of Co-annular Swirling Flows // AIAA paper.— 1985. — №.85-0186. — С.15.
5. *Зуйков А.Л.* Уточненные азимутальные скорости в течении за локальным завихрителем // Вестник МГСУ. 2012. № 1. С. 51–56.
6. *Зуйков А.Л.* Профили тангенциальных скоростей в циркуляционном течении в трубе // Вестник МГСУ. 2009. № 3. С. 195–199.
7. *Волшаник В.В., Зуйков А.Л., Мордасов А.П.* Аналитический метод

гидравлического расчета вихревых шахтных водосбросов // Гидротехническое строительство. 1989. №4. С. 38-42.

8. Зуйков А.Л. Распределение продольных скоростей в циркуляционном течении в трубе // Вестник МГСУ. 2009. № 3. С. 200–204

9. Зуйков А.Л. Структура вязкого циркуляционно-продольного течения в цилиндрическом канале // International Journal of Computational Civil and Structural Engineering. 2012. Т. 8. № 2. С. 82–96.

10. Зуйков А.Л. Устойчивость циркуляционно-продольного течения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. № 11-12. С. 77-86.

11. Volshanik V.V., Karelin V. Ya., Zuikov A.L., Orekhov G.V. Engineering Hydraulics of Convoluted Liquid Flows. "Power Technology and Engineering", 2000, Т. 34, № 11. С. 548-551.

12. Krivhenko G.I., Mordasov A.P. Kvytkovskay E. V., Volshanik V.V., Zuikov F.L., High-pressure water waste system with a counter vortex quencher energy of water flow. "Hydrotechnical construction", 1981. No. 10. pp. 29-31.

13. Parra-Santos M. T. et al. Aerodynamic characterization of isothermal swirling flows in com-bustors //International Journal of Energy and Environmental Engineering. – 2014. – Т. 5. – №. 2-3. – С. 85.

14. Hashimoto H. Swirling flow accompanied by cavity in circular tube //Reports of institute of hight speed mechanics Tohoku university. – 1968. – №. 19. – С. 241-257.

15. Зуйков А.Л., Орехов Г.В., Вошаник В.В. Распределение азимутальных скоростей в ламинарном контрвихревом течении // Вестник МГСУ. 2013. № 5. С. 150–161.

16. Karelin V.J., Krivhenko G.I., Mordasov A.P. Volshanik V.V., Zuikov A.L., .. Akhmetov V.K. Physical and mathematical modeling of systems of energy dissipation vortex spillway. Abstracts of scientific-technical conference "Physical and mathematical modeling of hydraulic processes ..." Divnogorsk, 1989. pp. 11-12.

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УЧАСТКОВ С ИНТЕНСИВНЫМ ВОЛНЕНИЕМ

**Макарова Я.А.**

*студентка 2 курса 18 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Колесников Ю.М.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры ГиГС МГСУ*

### **Аннотация**

Статья посвящена теме обеспечения безопасных условий швартовки, стоянки и обслуживания судов у причалов с интенсивным волнением при помощи волногасящих конструкций. Целью работы является обобщение и систематизация имеющихся сведений о волногасящих конструкциях портовых гидротехнических сооружений (ГТС), задачами: анализ существующих волногасящих конструкций портовых и оградительных сооружений, тенденции их развития; выделение критериев оценки этих конструкций и изучение методов их экспериментальных исследований. В работе были использованы сведения из отечественных и зарубежных работ по рассматриваемой тематике. Результатом работы является полученное обобщение и анализ информации из рассмотренных источников, позволивший сделать следующие выводы: 1) На сегодняшний день разработано значительное число технических решений и конструкции, предназначенных для повышения волногасящих свойств портовых ГТС; 2) Разработанные решения и конструкции имеют разную степень распространения в практике проектирования и строительства и при проектировании требуют критической оценки по следующим критериям: стоимость, степень гашения волновой энергии, применимость при естественных грунтовых условиях, влияние на экологию, соответствие назначению сооружения. 3) Более всего из критериев изучения научными методами требует степень гашения волновой энергии. Существует ряд методов оценки, наиболее распространенными из которых является экспериментальные модельные исследования, а наиболее перспективным и новым – численное моделирование. 4) Рассмотренная в настоящей работе тема важна для практики строительства портовых ГТС и включает ряд задач, требующих решения: создание нормативных документов, упрощающих выбор конструкции волногасящего сооружения и оценку ее эффективности; совершенствование методов оценки степени гашения волновой энергии.

**Ключевые слова:** портовое сооружение, оградительное сооружение, волногасящие конструкции, коэффициент отражения волн, гашение энергии.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Актуальной проблемой портового гидротехнического строительства на сегодняшний день является обеспечение безопасных условий швартовки, стоянки и обслуживания судов у причалов с интенсивным волнением. Это вызвано расширением причальных линий акваторий существующих портов для повышения их грузооборота, а также перспективой строительства новых терминалов. Одним из решений данной проблемы является использование конструкций причальных и оградительных сооружений, обладающих волногасящими свойствами. Исследованиями в данной области занимались как отечественные, так и зарубежные ученые [1]-[12]. Их усилиями разработаны конструкции, критерии оценки их свойств и методы исследований. Целью настоящей работы является обобщение и систематизация имеющихся сведений по данной теме. Задачами работы являются: анализ существующих волногасящих конструкций портовых и оградительных сооружений, тенденции их развития, выделение критериев оценки этих конструкций и изучение методов их исследований.

## **МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**

В работе были использованы сведения из открытых источников – отечественных и зарубежных работ по рассматриваемой тематике. Сведения были обработаны стандартными для научной практики методами подготовки обзорных статей: аналитическим обзором, систематизацией и обобщением информации.

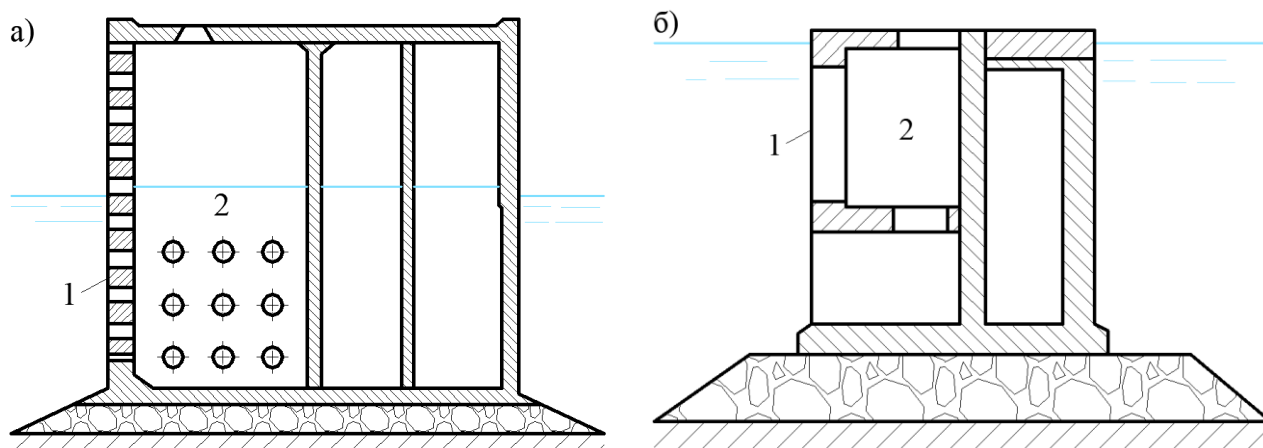
## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Конструкции портовых гидротехнических сооружений (ГТС), обладающих волногасящими свойствами.

В отечественной практике известны следующие волногасящие конструкции:

1. Массив-гигант. Представляет собой полый ящик-короб из железобетона с отсеками, образованными продольными и поперечными внутренними перегородками, которые после его установки в проектное положение заполняются бетоном, камнем, песком. При необходимости снижения волновых нагрузок и уменьшения отражательной способности сооружения вертикального профиля используются конструкции с перфорированными лицевыми вертикальными поверхностями, волногасящими камерами и надстройками. Принцип действия такого сооружения: исходная волна, подойдя к вертикальной лицевой грани, имеющей отверстия, частично отражается, а частично проходит через отверстия в камеру, где уровень воды колеблется с частотой волны, но со сдвигом по фазе. Вода, вытекающая

из камеры, создает поток, направленный в сторону, противоположную исходной волне. Основными факторами, обеспечивающими частичное гашение волны, в этом случае являются потери энергии при протекании воды через отверстия, влияние обратного потока, преобразование энергии волны в колебание уровня воды в камере. Конструкция массива-гиганта с перфорированной лицевой стенкой и волногасящей камерой впервые использовалась при строительстве мола в порту Бе-Комо (Канада) в 1964 г. (рис. 1.1а) [1].



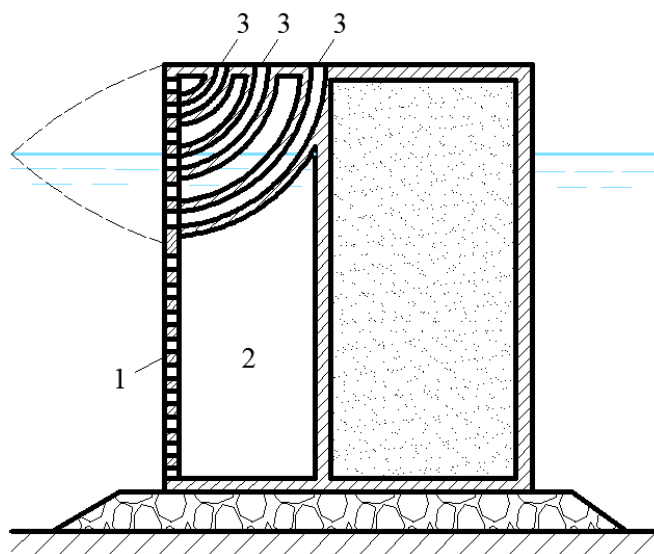
**Рисунок 1.1а, б** – поперечный разрез сооружения из массивов-гигантов с перфорированной лицевой стенкой (1) и камерой гашения (2)

Волнолом в порту Осака (Япония) (рис. 1.1б) – волногасящая камера коробчатого типа, расположенная в зоне уровня спокойного горизонта воды. Лицевая стенка имеет вертикальные щели, которые составляют 22% площади стенки, а также горизонтальные щели, что позволяет значительно (до 40 %) уменьшить нагрузки от разбивающихся волн по сравнению с обычным сооружением вертикального профиля и отражение [1].

Недостатки: 1. Перфорация лицевой стенки и камера гашения снижают горизонтальную составляющую волновой нагрузки, но взвешивающая сила практически не изменяется, как и при воздействии волн на обычный массив-гигант с вертикальной лицевой стенкой, следовательно, возникает необходимость увеличивать массу засыпки и ширину массива-гиганта для обеспечения его устойчивости. 2. Предотвращение эффекта отражения происходит в узком спектре волн, период которых близок к периоду собственных колебаний уровня воды в камере гашения.

Для повышения надежности работы массива-гиганта советскими учеными была разработана конструкция, где в верхней части камеры гашения выполнены криволинейные каналы со входом на лицевой грани и выходом на верхней грани массива (рис. 1.2), при движении по ним жидкости возникает составляющая, направленная против действия взвешивающих сил, что увеличивает устойчивость массива-гиганта. Камера гашения располагается в зоне переменного уровня, благодаря наличию криволинейных каналов, ее

период собственных колебаний не постоянный, а зависит от амплитуды колебания уровня, что увеличивает диапазон частот, при которых отражение волн от лицевой стенки практически отсутствует, следовательно, это позволяет уменьшить затраты на крепление дна перед сооружением, так как стоячие волны не будут возникать в широком диапазоне частот. Увеличение устойчивости массива-гиганта и расширение диапазона частот, при которых практически отсутствует отражение волн, позволяет уменьшить поперечную ширину массива и ширину постели на 15-20%, а также существенно снизить затраты на крепление дна перед сооружением, что позволит снизить затраты на возведение сооружения на 10-15%. [2]. Недостаток – высокая стоимость из-за применения специальной оснастки, материалов и оборудования для изготовления сложной пространственной железобетонной конструкции.



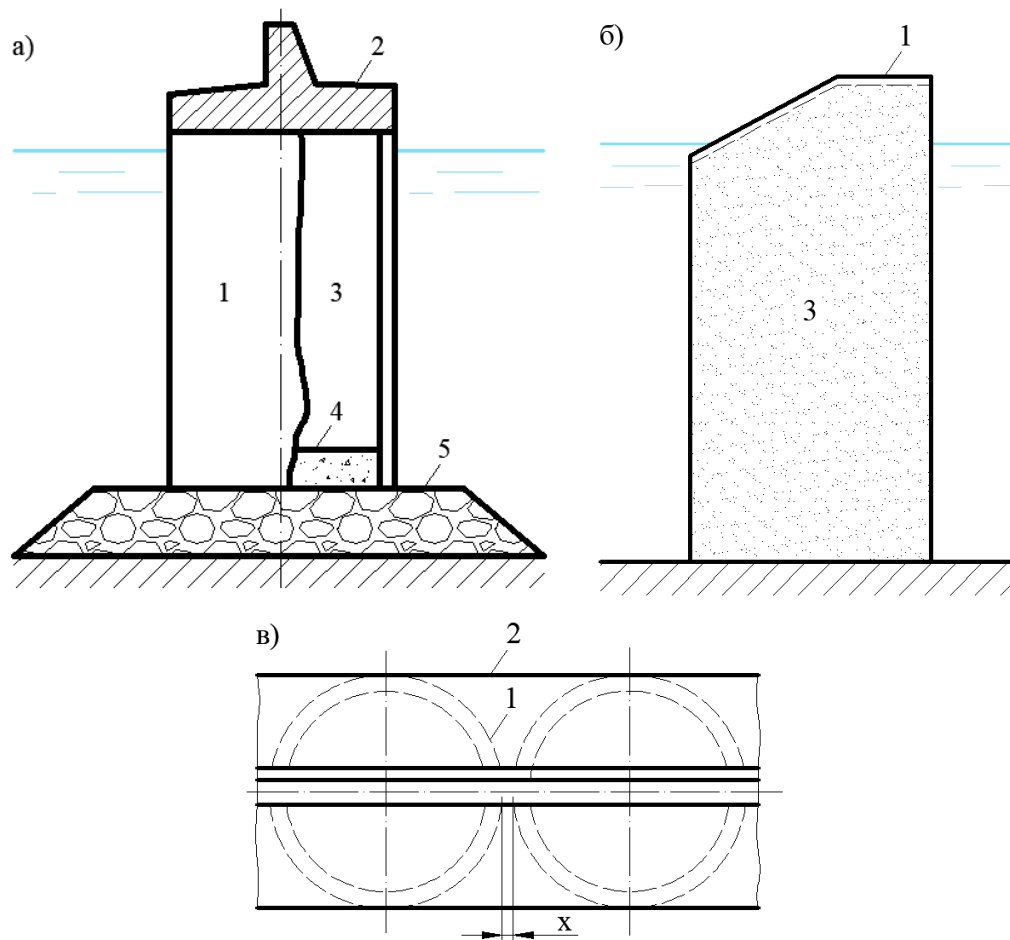
**Рисунок 1.2** – Поперечный разрез сооружения из массивов-гигантов с перфорированной лицевой стенкой (1), камерой гашения (2) и криволинейными каналами (3)

2. Сооружения из железобетонных оболочек большого диаметра. Причал в виде стенки, состоящей из одного или более рядов железобетонных оболочек круглого или полигонального сечения, устанавливаемых с зазором (или без зазоров) по фронту сооружения (рис. 2а, в) [1]. Примером таких сооружений являются: волнолом в порту Кобе в Японии, мол в порту Хансхольм в Дании (в основании плотные известняки) (рис. 2б).

Оболочки могут быть монолитными или из сборных горизонтальных или вертикальных элементов со стыками соответственно по периметру оболочки или по образующим. Полость оболочки заполняется камнем, галечником, гравием, песком. Зазор между оболочками по фронту сооружения принимается из условий обеспечения требуемого волнового режима на прилегающем участке акватории. Конструкция причального сооружения гравитационного типа из оболочек большого диаметра с щелевой перфорацией в

лицевой стенке и с откосом в передней части оболочки предложена Р.М. Эрлихом и И.А. Лызловым. По мнению авторов изобретения, степень гашения волны увеличивается при вовлечении в работу крупного заполнителя оболочки путем устройства перфораций также в вертикальной плите уголкового стенки, устанавливаемой в диаметральной плоскости оболочки [3].

Существенный недостаток – тонкостенность конструкции, что снижает долговечность сооружения и ограничивает его применение в суровых климатических условиях (высокая степень коррозии бетона и арматуры из-за периодического изменения уровня воды при отрицательной температуре воздуха).

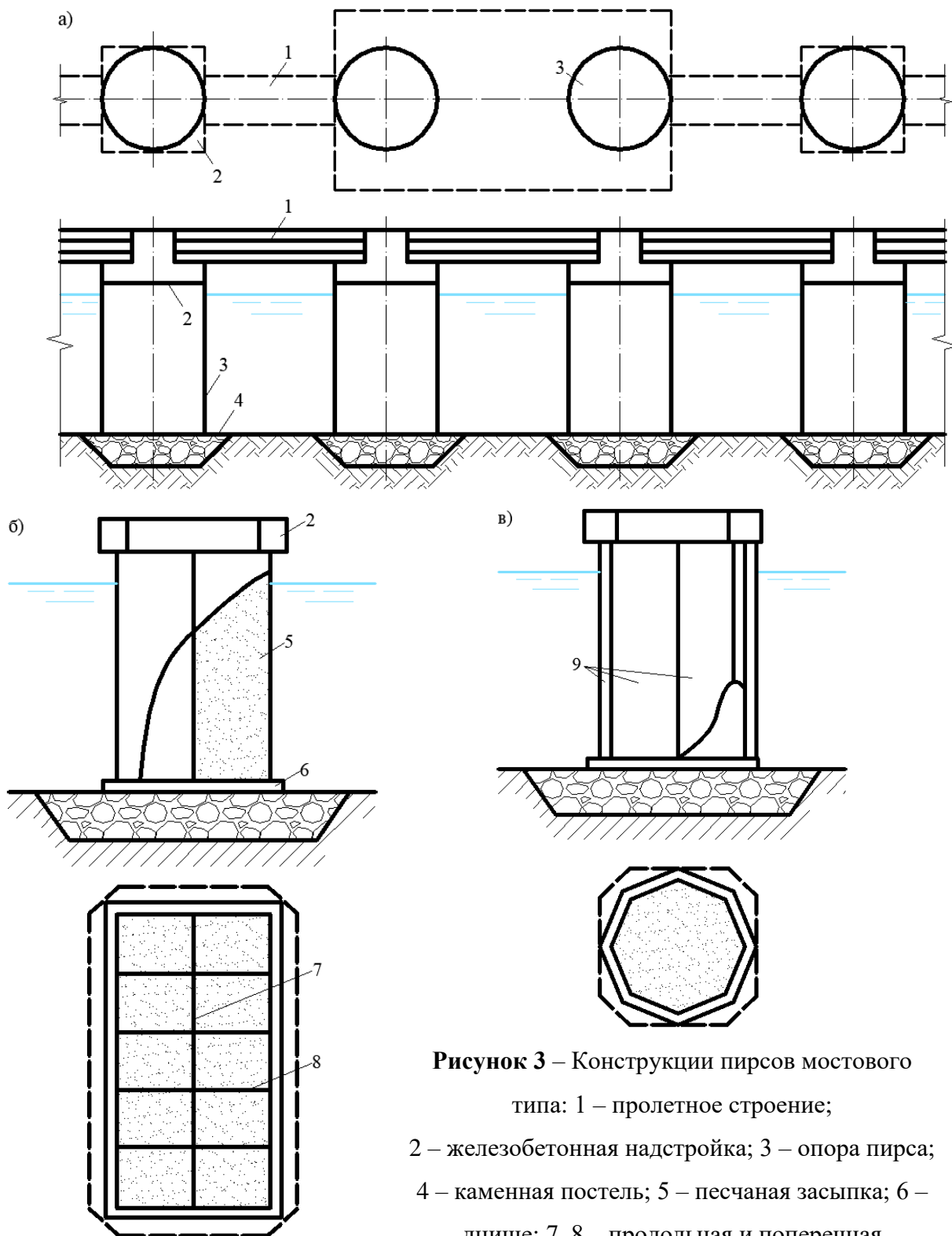


**Рисунок 2** – Поперечный разрез (а, б) и план (в) сооружения из оболочек большого диаметра: 1 – железобетонная оболочка; 2 – надстройка; 3 – грунт засыпки; 4 – обратный фильтр; 5 – каменная постель

3. Сквозные причальные сооружения на гравитационных опорах. Горизонтальные усилия от удара и навала судов и швартовные нагрузки воспринимаются отдельными элементами сооружения, верхнее строение несет только вертикальные нагрузки. Возводятся на плотных естественных основаниях с высокой несущей способностью, особенно когда погружение свай в основание затруднено или невозможно. Пирсы мостового типа состоят из



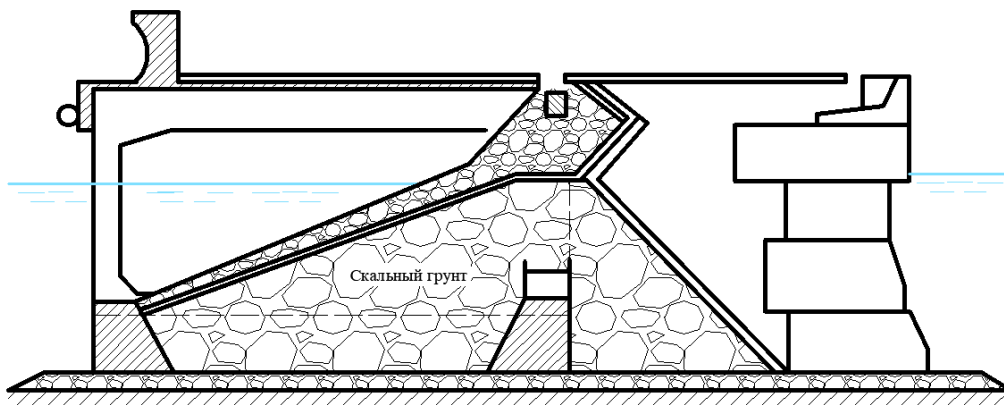
отдельно стоящих опор усиленной жесткости, расстояния между которыми перекрываются пролетными строениями из железобетона или металла. Опоры могут быть выполнены из оболочек большого диаметра (рис. 3а), из массивовой кладки, массивов-гигантов прямоугольной (рис. 3в), полигональной (рис. 3г) формы [4].



**Рисунок 3** – Конструкции пирсов мостового

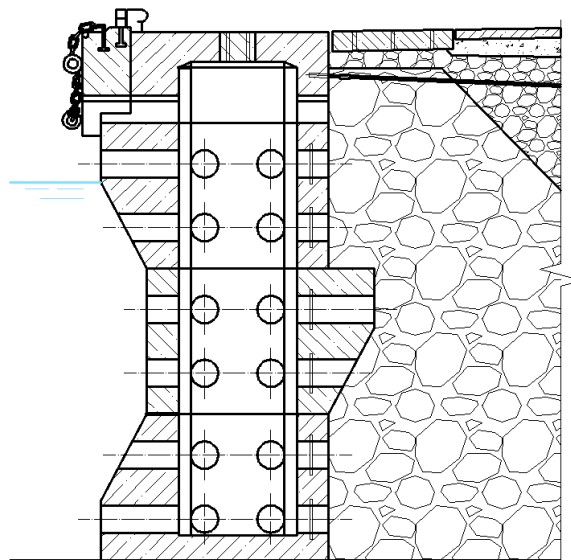
- типа: 1 – пролетное строение;  
 2 – железобетонная надстройка; 3 – опора пирса;  
 4 – каменная постель; 5 – песчаная засыпка; 6 –  
 днище; 7, 8 – продольная и поперечная  
 перегородки; 9 – стенки массива-гиганта

4. Стенка с подпричальным откосом. Подпричальный откос выступает в качестве волногасящего элемента, несущий элемент – поперечные железобетонные рамы прямоугольной формы, устанавливаемые в прорези бетонных блоков. Бетонные блоки распределяют нагрузку на основание, являются направляющими при установке поперечных рам и удерживают подпричальный откос. В корневой части поперечные рамы устанавливаются непосредственно на каменную постель. В верхней части откоса – отсыпка крупных негабаритов и устройство щели в плитах перекрытия (рис. 4) [3]. Результат лабораторных испытаний указывает на удовлетворительную волногасящую способность конструкции, существенный недостаток – технологическая сложность монтажа.



**Рисунок 4** – Поперечный разрез стенки с подпричальным откосом

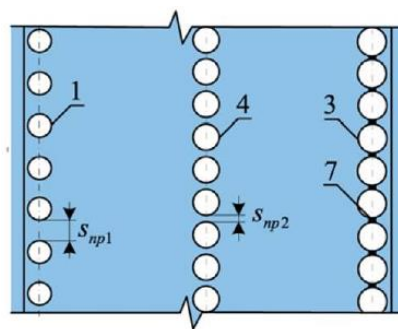
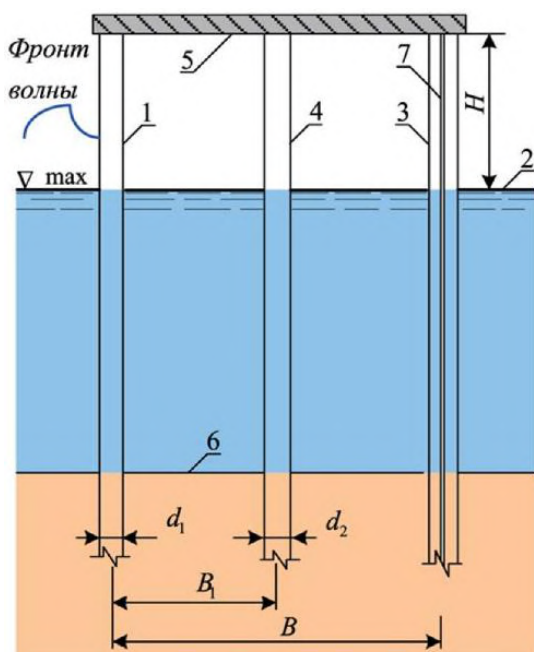
5. Гравитационная вертикальная стенка из пустотелых перфорированных 100-тонных массивов столбовой кладки без перевязки швов (рис. 5).



**Рисунок 5** – Поперечный разрез гравитационной вертикальной стенки из пустотелых перфорированных 100-тонных массивов столбовой кладки

Вертикальные элементы блоков (лицевой, тыловой и боковые) имеют горизонтальные отверстия диаметром  $d$  0,6 м, а внутреннее пространство массивов образует камеру гашения. Засыпка за стенкой – волногасящая разгрузочная призма из скального грунта массой 100 – 300 кг. Волны через отверстия проникают в камеру, после чего в пористую засыпку, где их энергия частично гасится за счет трения и турбулентности. При понижении уровня воды перед сооружением (при подходе ложбины волны) из камеры гашения устремляется обратный поток, который способствует разрушению подходящего гребня, уменьшая тем самым энергию волны. Образуется интерферирующая волна, которая в зависимости от степени перфорации стенки, ширины камеры, пористости засыпки может иметь преобладающие признаки либо стоячей, либо бегущей волны. Наблюдается эффект снижения степени отражения волн и нагрузок от них по сравнению со сплошной вертикальной стенкой [5].

б. Сквозное оградительное сооружение из металлических свай с камерой гашения. Разработано ООО «Морское строительство и технологии» [6], предназначено для защиты акватории порта от воздействия волн большой высоты, эффективно на больших естественных глубинах, наносится меньший ущерб рыбному хозяйству (рис. 6). Позволяет повысить эффективность гашения волн, предотвратить переливы воды через сооружение; уменьшить ударные воздействия на ростверк 5 и сваи 3 за счет чего существенно уменьшается материалоемкость, упрощается конструкция сооружения.



**Рисунок 6** – Сквозное оградительное сооружение с камерой гашения: а – поперечный разрез; б – план:

- 1 – ряд свай со стороны фронта волны;
- 2 – защищаемая акватория морского порта; 3 – ряд свай, объединенных в глухую стену;
- 4 – промежуточный ряд свай; 5 – ростверк; 6 – дно акватории; 7 – шпунтовые замки

Приведенные конструкции имеют разную степень распространения в практике проектирования и строительства. Для выделения наиболее удачных конструкций и дальнейшей проработки методик их проектирования и строительства следует обозначить критерии оценки, позволяющие сравнивать между собой описанные ранее конструкции.

Критерии оценки волногасящих конструкций портовых ГТС:

1. Стоимость, которая включает:
  - Материалоемкость.
  - Трудоемкость работ.
  - Затраты на логистику.
2. Степень гашения волновой энергии.
3. Применимость при естественных грунтовых условиях.
4. Влияние на экологию.
5. Соответствие назначению сооружения.

Приведем поясняющий пример качественной (без численных показателей) оценки конструкции по приведенным критериям:

1. Гравитационное сооружение вертикального типа имеет высокую материалоемкость, однако сравнительно нетрудоёмкое в возведении, в отличие от сквозных. При отсутствии поблизости производственной базы для изготовления массивных конструкций логистические издержки начинают значительно влиять на стоимость сооружения.

2. При отсутствии перфорации лицевой вертикальной стенки гравитационного сооружения возникает «стоячая» разбивающаяся волна, что увеличивает нагрузку на конструкцию, при заданной высоте волны возникают значительные всплески и переливы через конструкцию. высота волны в створе сооружения может превышать 3,0 м. Конструкции с пористым характером преграды способствуют снижению влияния явлений отражения и сложения волн перед сооружением и смягчению ударного воздействия волн.

3. Гравитационные сооружения целесообразно применять при грунтах основания, обладающих высоким расчетным сопротивлением и низкой деформативностью.

4. Гравитационные сооружения перекрывают транзит наносов, что требует дополнительной оценки влияния на окружающую среду.

5. Гравитационное волнозащитное сооружение вертикального типа также может служить и причальным сооружением, не допускающим перелив.

На сегодняшний день количественная оценка по данным критериям для выбора конструкции сооружения требует проведения большого числа расчетов. Актуальной задачей

является создание нормативных и методических документов, упрощающих выбор конструкции на этапе предпроектной проработки. Такие документы могут содержать показатели, полученные по результатам расчетов для типовых грунтовых, гидрологических условий; показатели экономической эффективности и рекомендации по учету этих показателей. Решение данной задачи требует проведения научных исследований.

Из приведенных выше критериев более всего изучения научными методами требует степень гашения волновой энергии. Для оценки по нему конструкции существует ряд экспериментальных и расчетных методик.

Методы. Из-за сложности гидравлических явлений взаимодействия волн с сооружением, получение достоверных теоретических результатов для степени гашения волновой энергии связано со значительными трудностями, поэтому для определения физики явлений зачастую выбирают экспериментальный путь исследований [7]. Подобным экспериментальным исследованиям посвящено много трудов как отечественных специалистов: [8], [9], [10], и др., так и зарубежных [11].

Экспериментальные исследования волногасящих свойств выполняются в гидроволновом лотке. При лабораторном моделировании необходимо соблюдение законов механического подобия: геометрического, кинематического и динамического, а также соблюдение одинаковых граничных и начальных условий. Для пересчета лабораторных данных в натурные используют следующие масштабные коэффициенты:

$$\begin{array}{ll}
 a_l = l_m \cdot l_n - \text{линейный масштаб;} & p_n = p_m a_l - \text{давление от воды;} \\
 m_n = m_m a_l^3 - \text{масса элемента;} & Q_n = Q_m a_l^3 - \text{нагрузка от волны;} \\
 h_n = h_m a_l - \text{высота волны;} & T_n = T_m a_l^{\frac{1}{2}} - \text{период волны;} \\
 \lambda_n = \lambda_m a_l - \text{длина волны;} & \\
 d_n = d_m a_l - \text{глубина у сооружения;} & V_n = V_m a_l^{\frac{1}{2}} - \text{скорость волны.}
 \end{array}$$

Перспективным направлением для изучения волногасящих свойств являются численные модели ветрового волнения (MIKE 21, SWAN, TOMAWAC) и универсальные программы численного моделирования (Ansys, OpenFoam). Однако, полученные при их помощи решения могут содержать значительные ошибки ввиду сложности моделей, что также требует их верификации натурными данными.

## ВЫВОДЫ

1. На сегодняшний день разработано значительное число технических решений и конструкции, предназначенных для повышения волногасящих свойств портовых ГТС.

2. Разработанные решения и конструкции имеют разную степень распространения в практике проектирования и строительства, при проектировании требуют критической оценки по критериям: стоимость, степень гашения волновой энергии, применимость при естественных грунтовых условиях, влияние на экологию.

3. Более всего из критериев изучения научными методами требует степень гашения волновой энергии. Существует ряд методов оценки, наиболее распространенными из которых является экспериментальные модельные исследования, а наиболее перспективным и новым – численное моделирование.

4. Рассмотренная в настоящей работе тема важна для практики строительства портовых ГТС и включает ряд задач, требующих решения: создание нормативных документов, упрощающих выбор конструкции волногасящего сооружения и оценку ее эффективности; совершенствование методов оценки степени гашения волновой энергии.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Яковлев П. И., Тюрин А. П., Фортученко Ю. А. Портовые гидротехнические сооружения: Учебн. для сред. спец. учебн. завед. — М.: Транспорт, 1989.— 320 с.

2. Авторское свидетельство СССР478094, кл, Е 02 В 3/06, 1973.2. Порты и портовые сооружения. Подред. Г. Н. Смирнова. М., Стройиздат, 1979, с. 240 - 241.

3. Морозов А.М., Фальк М.А. Особенности конструктивных решений причалов для акваторий с интенсивным волнением / Гидротехнические воднотранспортные и глубоководные сооружения. Сб. трудов № 192. М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1984, с. 5–21.

4. Яковенко, Виталий Григорьевич. Строительство причалов / В. Г. Яковенко. - М. : Транспорт, 1981. - 255 с.

5. Колесников Ю.М. Об эксплуатационном состоянии волногасящей конструкции пирса-мола из пустотелых бетонных массивов // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №4, <https://t-s.today/PDF/16SATS419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

6. Пат. 103367 РФ МПК E02B3/06 (2006.01). Волнозащитное сооружение / Николаевский М. Ю., Горгуца Р. Ю., Субботин М. В. – № 2010146509/21. – Заявл. 15.11.2010; Оpubл. 10.04.2011. – Бюл. № 10. – 3 с.

7. Гарибин П. А. Экспериментальные исследования сквозного волнозащитного сооружения с камерой гашения / Павел Андреевич Гарибин, Михаил Викторович Субботин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О.

Макарова. - 201.

8. Михалев М. А. Физическое моделирование гидравлических явлений / М. А. Михалев. – СПб.: Издательство Политехнического ун-та, 2010. – 443 с.

9. Кожевниковы. П. Гидравлика ветровых волн / М. П. Кожевников. – М.: Энергия, 1972. - 264 с.

10. Чугаев Р. Р. Гидравлика / Р. Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1982. – 672 с.

11. M. Sc. NapuGoma Ibrahim Ahmed Wave Interaction with Vertical Slotted Walls as a Permeable Break-water / Dissertation. – Wuppertal, 2011.

# «СТЕНЫ В ГРУНТЕ» КАК ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

**Кравченко А.А., Дмитриенко А.А.**

*студенты 3 курса 1 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Саинов М.П.<sup>1</sup>, Сорока В.Б.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>кандидат технических наук, доцент кафедры ГиГС МГСУ*

*<sup>2</sup>аспирант кафедры ГиГС МГСУ*

## **Аннотация**

Рассматриваются технологии устройства противofильтрационных стен в грунтовых плотинах и других гидротехнических сооружениях. Проводится анализ особенностей их напряжённно-деформированного состояния (НДС).

**Ключевые слова.** Напряжённно-деформированное состояние (НДС), противofильтрационные стены (ПФС), «стена в грунте», траншейная стена, буросекущиеся сваи, деформации, напряжения, осадки.

Противofильтрационные элементы играют ключевую роль в конструкциях грунтовых плотин, так как они выполняют основную функцию плотины – удержание воды. Они могут быть различными по своей конструкции и по виду материала, обеспечивающего их водопроницаемость [1]. Т.к. фильтрация воды происходит как в теле, так и в основании плотин, противofильтрационные элементы могут располагаться в самой плотине и в её основании.

Одним из видов противofильтрационных элементов являются противofильтрационные завесы. Завесы могут выполняться методами инъекций или методами типа «стена в грунте».

Инъекционные завесы выполняют в трещиноватой, фильтрующей скале. Их преимущество в том, что они могут выполняться на очень большие глубины (сотни метров). Метод создания инъекционных завес заключается в нагнетании под давлением в трещины и поры горной породы специальных растворов для снижения водопроницаемости породы. В трещины могут инъектироваться глиноцементные, цементные, битумные растворы. Инъекционные завесы могут выполняться и в нескальных грунтах. Первая инъекционная завеса в нескальном основании была выполнена на плотине Серр-Понсон (Франция) в 1954-1956 гг. [1]. Масштабные работы по устройству цементационной завесы были проведены в песчано-гравийном основании Асуанской плотины. Однако процесс инъекции нескальных



грунтов технологически сложен из-за высокой проницаемости крупнообломочных грунтов. Ещё одним из недостатков инъекционных завес в нескальных грунтах является большой объём работ и расход материалов. Толщина инъекционной завесы в крупнообломочных грунтах в соответствии со строительными нормами должна составлять примерно 20% от напора.

Поэтому в нескальных грунтах более рациональным является устройство противofильтрационных стен (ПФС) или «стен в грунте». Их основными преимуществами является то, что они позволяют надёжно прорезать водопроницаемый слой, но при этом не требуют большого расхода герметизирующего материала. Толщина ПФС составляет примерно 0,6 м - 1,2 м. Существуют несколько методов создания ПФС: траншейный метод, метод буросекущихся свай, метод перемешивания и метод струйной цементации.

Технология метода траншейных стен заключается в двух основных этапах. Первый этап – это разработка траншеи под защитой бентонитового раствора, который предотвращает обрушение стенок траншеи и препятствует поступлению в траншею воды. Вторым этапом – это заполнение траншеи водонепроницаемым материалом (местные глинистые грунты или материалы на основе цемента). ПФС активно применяются в гидротехническом строительстве начиная с середины XX в. [1].

Траншейным методом устраивают стены на глубину до 135 м. Самая масштабная ПФС была выполнена в основании Karkhe в Иране, её глубина достигает 80 м, а площадь – 190 тыс.м<sup>2</sup> [2].

Исторически первым методом создания стен-завес является метод буросекущихся свай. В этом методе ПФС представляет собой ряд пересекающихся друг с другом свай. Выемка грунта под сваю производится под защитой обсадной трубы, которая позже извлекается. Максимальная глубина ПФС, устраиваемая методом буросекущихся свай, составляет 40 м.

Важной областью применения метода буросекущихся свай является капитальный ремонт грунтовых плотин, заключающийся в восстановлении водонепроницаемости путём устройства нового противofильтрационного элемента. Примером может служить плотина Курейской ГЭС, ремонт которой выполнялся в 1999 г. [3].

В последнее время стали применяться новые методы создания стен – метод перемешивания и метод струйной цементации. В этих методах выемка грунта не производится, он входит в состав искусственного камня ПФС. В методе перемешивания в процессе разработки сваи происходит цемента и грунта. В 2008 г. он был использован для создания ПФЭ в теле и основании дамбы Herbert Hoovere вокруг озера Lake Okeechobe в США. Её длина 21,4 мили, т.е. более 34 км.

В методе струйной цементации струя цементного раствора или воды, подаваемая под давлением, размывает грунт, освобождая место для цементного раствора. Этот метод был использован при устройстве стены-завесы русловой части плотины Сангтудинской ГЭС-1 (Таджикистан, 2009 г.) [4], а в плотине Xiaolongdi (Китай, 2000 г.) – противofильтрационный элемент верховой перемычки [5].

Благодаря разнообразию технологий и материалов, применение перечисленных методов позволяет активно использовать противofильтрационные стены в конструкциях грунтовых плотин. Количество таких плотин постоянно увеличивается. В связи с этим приобретает актуальность вопрос о надёжности противofильтрационных стен.

Существует угроза, что при образовании в тонкостенной конструкции трещины приведёт к потере герметичности водонепроницаемого контура. Обычно считается, что причиной образования трещин являются растягивающие напряжения, возникающие вследствие деформаций изгиба.

Однако более детальный анализ показывает, что ПФС работают не только на изгиб, а в более сложных условиях. ПФС воспринимают не только горизонтальные, но и вертикальные силы. Горизонтальные силы вызваны гидростатическим давлением воды и боковым давлением грунта. Необходимо отметить силы бокового давления грунта, действующие на стену с верховой и низовой сторон, не равны друг другу. При смещениях стены в сторону нижнего бьефа боковое давление со стороны верхнего бьефа уменьшается, а с нижнего – увеличивается.

К вертикальным силам относятся вертикальное давление воды на оголовок стены, собственный вес ПФС, а также силы трения на боковой поверхности стены.

В зависимости от конструкции плотины стена может находиться под действием разных по величине сил.

Стены, выполненные в теле уже эксплуатируемой грунтовой плотины, в основном работают на восприятие горизонтальных сил. Для них основную опасность представляют растягивающие напряжения от деформаций изгиба, которые могут вызвать отрыв стены от основания в зоне заделки.

На стены, выполненные в основании плотины, основную нагрузку создают силы трения на боковых гранях. Расчеты, выполненные с помощью численного моделирования, показывают, что в случае, когда сжимаемость материала стены и прилегающего грунта сильно отличается, на боковых поверхностях возникают значительные силы трения [6-8]. Эти силы возникают при деформациях уплотнении грунта основания под весом плотины. Силы трения вызывают в ПФС значительные сжимающие напряжения. Они могут превышать предела прочности материала стены на сжатие.

В этой связи большое значение имеет местоположение стены в конструкции плотины. Анализ показывает, что стены, расположенные во внутренней части профиля, испытывают существенно бóльшие вертикальные силы, чем стены, вынесенные за пределы профиля [9]. Стены, выполненные в основании плотин с железобетонным экраном, работают в более благоприятных условиях, чем стены в основании плотин с ядром.

Большой интерес представляют результаты натуральных исследований НДС «стен в грунте», которые были выполнены на некоторых реальных плотинах. Они собраны в [9]. Максимальное горизонтальное смещение наблюдается в оголовке стены. Их максимальные значения достигают 0,35% от высоты стены. Осадки ПФС сильно зависят от её местоположения в составе плотины. Для центрально расположенных стен максимальная осадка, может достигать 16 см (0,35% от глубины стены). Она примерно в 4-7 раз выше, чем осадка ПФС, расположенных со стороны верхнего бьефа. У таких стен осадка не превышает 3 см (0,1% от глубины стены). Натурными измерениями была зафиксирована разность осадок между стеной и прилегающим грунтом.

Для измерения вертикальных деформаций и напряжений на этапе строительства на боковых гранях ПФС устанавливались одноосные тензометры. Измерения проводились в нескольких точках по высоте ПФС. Натурные измерения в целом подтвердили результаты численного моделирования. ПФС испытывают значительные вертикальные сжимающие напряжения. В стенах, расположенных по оси плотины, сжимающее напряжение достигают 15-25 МПа, а в стенах, расположенных со стороны верхнего бьефа, они достигают 5-20 МПа. Своего максимума напряжения достигают на глубине 60-90 % от полной глубины ПФС.

Высокие сжимающие напряжения создают опасность потери прочности материала на сжатие. Чтобы избежать этого, рекомендуют выполнять стену из менее жёсткого материала, например, пластичного бетона (глиноцементобетона). Численные исследования показывают, что применение в стене менее жёсткого материала позволяет уменьшить не только сжимающие продольные силы, но и изгибающие моменты. Чем ниже модуль деформации материала стены, тем благоприятнее её НДС.

Вывод: Современные технологии позволяют создать противofильтрационную защиту в любых грунтах благодаря использованию специальных материалов. Условия работы «стен в грунте» напрямую зависят от её местоположения в составе конструкции плотин, при этом расположение в плотине с экраном, более благоприятно, чем в плотине с центральным ядром. НДС противofильтрационных стен характеризуется наличием не только изгибающими моментами, но и сжимающими продольными силами. Возможны случаи потери прочности бетонных стен на сжатие и/или растяжение. Для обеспечения прочности противofильтрационных стен рекомендуют выполнять ПФС из материала, приближённого к

деформируемости окружающего грунта. Модуль деформации материала «стены в грунте» не должен превышать модуль деформации основания более, чем в 5 раз.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грунтовые плотины: конструирование, строительство, эксплуатация: учебное пособие / М.П.Саинов. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 295 с.
2. Faridmehr, I., Yazdanipour, M.R., Jokar, M.J., Ozbakkaloglu, T. Construction and Monitoring of Cement/Bentonite Cutoff Walls: Case Study of Karkheh Dam, Iran. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2019. (July). DOI:10.2478/sgem-2019-0019.
3. Бардюков В.Т., Изотов В.Н., Гришин В.А., Радченко В.Г., Шишов И.Н. Ремонт плотины Курейской ГЭС // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2000. Т.238. С.92–96
4. Возведение противofильтрационной завесы методом струйной цементации в основании плотины Сангтудинской ГЭС-1. Цой М.С.Д., Алданов А.Г., Радченко В.Г., Семенов Ю.Д., Данилов А.С., Смоленков В.Ю. // Гидротехническое строительство. 2008. №5. С.32–37.
5. Захаров С.В., Радченко В.Г., Семенов Ю.Д., Сулимов В.С., Смоленков В.Ю., Таймасханов А.М. Метод струйной цементации в гидротехническом строительстве // Гидротехническое строительство. 2008. №4. С.2–11
6. Саинов М.П. Пространственная работа противofильтрационной стены // Инженерно-строительный журнал. 2015. №5. С.20–33
7. Саинов М.П., Лубьянов В.В. Напряжённо-деформированное состояние противofильтрационных стен в основании грунтовых плотин // Инженерно-строительный журнал. 2017. №5(73). С.96-112
8. Саинов М.П., Богатырев И.Л., Кириченко А.Ю. Исследования напряжённо-деформированного состояния противofильтрационных стен плотины Сиалонгди // Известия вузов: Строительство. 2019. №5. С.81-93
9. Wen, L., Chai, J., Xu, Z., Qin, Y., Li, Y. Comparative and Numerical Analyses of Response of Concrete Cutoff Walls of Earthen Dams on Alluvium Foundations // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2019. 145(10). 04019069. DOI:10.1061/(asce)gt.1943-5606.0002132.

# ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПОДЗЕМНЫХ ГЭС НА ПРИМЕРЕ РОГУНСКОЙ ГЭС

**Баврин П. С.**

*Студент 2 курса магистратуры 17 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Маркова И. М.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры ГиГС МГСУ*

## **Введение**

Бурный рост строительства подземных сооружений самого разнообразного назначения и непрерывно возрастающие требования к обеспечению в них строго заданных параметров микроклимата и газового состава воздуха, неизмеримо повысили роль и значимость специализированного оборудования по обработке воздуха, подаваемого в помещения подземных сооружений.

Условия для обработки воздуха в таких сооружениях весьма существенно отличаются от условий, в зданиях и сооружениях, наземного расположения. Можно выделить три основных отличия:

1. Практически полное отсутствие инфильтрации воздуха через ограждения, в результате чего воздухообмен в помещениях происходит с помощью вентиляционной системы и состав воздушной среды определяется только характером обработки воздуха;
2. Наличие влагообмена между внутренним воздухом помещений и ограждающими конструкциями, что имеет место, в случае если ограждающие конструкции (обделка) имеют недостаточную степень влагонепроницаемости.
3. Теплотери в таких сооружениях приходится рассчитывать исходя из двух последовательных этапов: для периода прогрева ограждающих конструкций и грунтового массива и далее для периода стационарного режима.

## **Помещение машинного зала и трансформаторной Рогунской ГЭС**

Здание ГЭС на 6 агрегатов располагается в подземной выработке 21x221,5 м на глубине порядка 400 м от дневной поверхности. Проектная глубина выработки машинного зала 70,0 м. Доступ в машинный зал осуществляется через транспортный туннель Т-4, имеющий оборудованный воротами выход на монтажную площадку. Длина агрегатной части 158,80 м; длина монтажной площадки 62,70 м. Отметка пола машинного зала в агрегатной части и на монтажной площадке 974,60 м.

Вмещающий машинный зал скальный массив сложен песчаниками и алевролитами. Монтажная площадка, агрегатные секции №1-№4 размещаются в зоне песчаников. Агрегатные секции №5 и №6 располагаются в зоне алевролитов.

Помещение трансформаторов расположено со стороны НБ по отношению к машзалу, на более высоких отметках. Разница в отметках пола машинного зала ГЭС и главного зала трансформаторного помещения составляет 16,70 м, расстояние между осью агрегатов в машинном зале ГЭС и осью трансформаторного помещения равно 63,50 м. Машинный зал ГЭС и помещение трансформаторов соединены между собой галереями генераторных токопроводов и двумя пешеходными туннелями, а отсасывающие трубы отходящие от турбин ГЭС соединены с фундаментной частью помещения трансформаторов. Главный зал трансформаторного помещения имеет габариты 211,6x18 м, высота от пола до свода 27,9 м. Доступ в помещение трансформаторов осуществляется через транспортный туннель Т-6, отделенный от помещения откатными воротами.

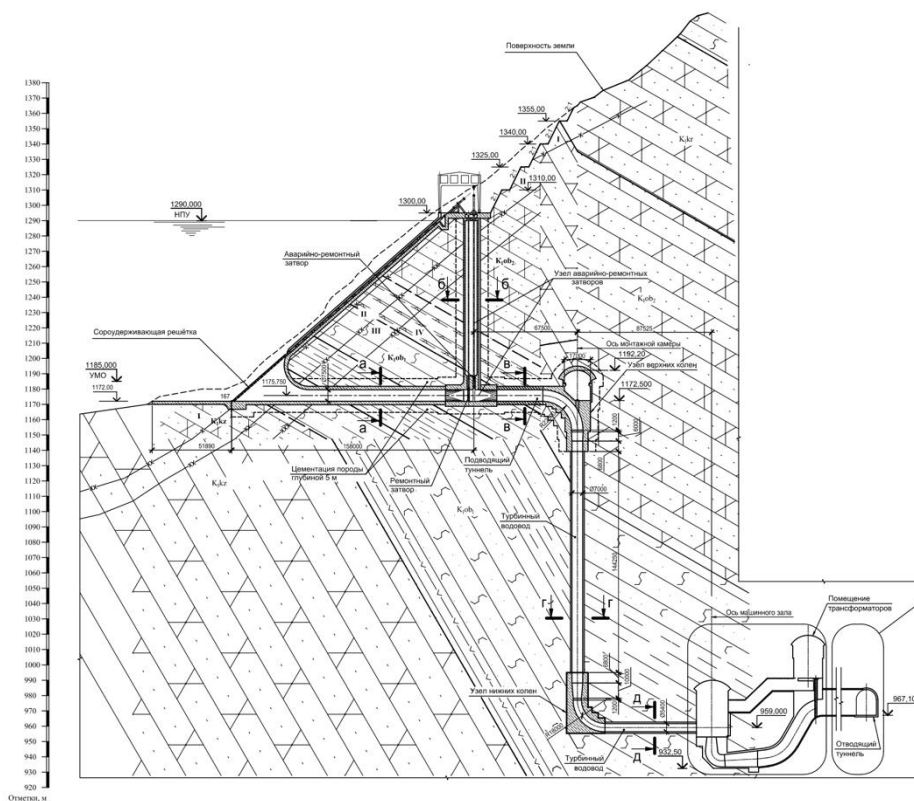
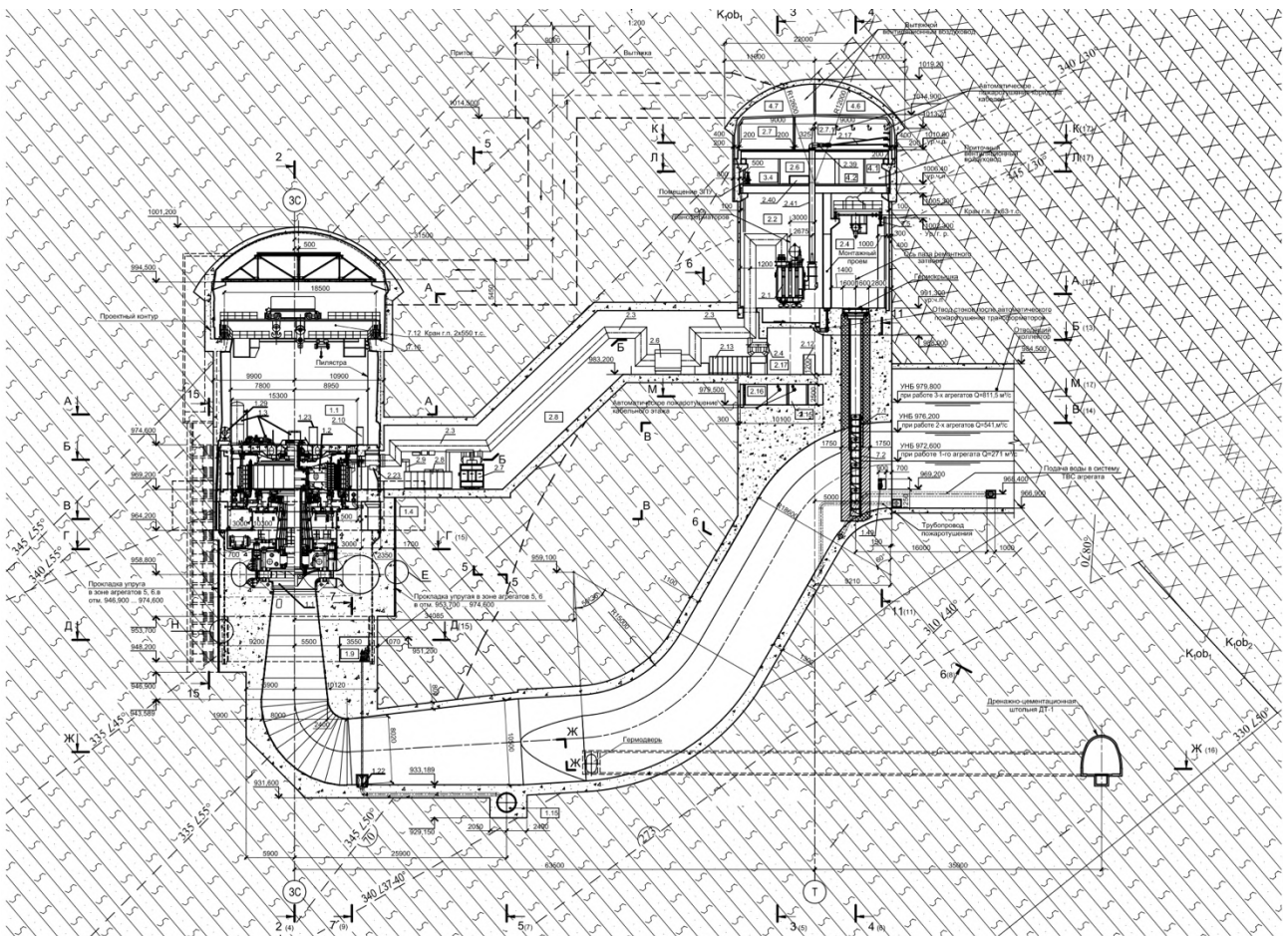


Рисунок 1 - Сооружения напорно-станционного узла Рогунской ГЭС



**Рисунок 2 -** Подземное здание станции Рогунской ГЭС и помещение трансформаторов

**Описание систем вентиляции и кондиционирования воздуха**

**Таблица 1.** Климатологические данные наружного воздуха района строительства Рогунской ГЭС

Расчетная географическая широта, °с.ш.	Расчетное барометрическое давление, мм рт.ст	Периоды года	Параметры А		Параметры Б		Расчетная скорость ветра, м/с
			Температура, °С	Тепло-содержание, Дж/кг	Температура, °С	Тепло-содержание, Дж/кг	
40	675	теплый	30	52,0	35	57,0	1,6
		холодный	-6	-2,1	-19	-16,8	

Системы вентиляции выполняются с учетом сейсмичности района строительства станции – 9 баллов по MSK-64.

Подача приточного воздуха в здание ГЭС и помещение трансформаторов при работе всех 6-ти агрегатов осуществляется через вентиляционную шахту приточными системами вентиляции, расположенными в вентцентре на отм. 1134,000.

Шахта расположена между зданием ГЭС и помещением трансформаторов и объединяет приточно-вытяжные системы из них. Сечение шахты разделено перегородками на отсеки для подачи приточного воздуха в здание ГЭС и помещение трансформаторов и удаления воздуха из этих помещений. В холодный период часть тёплого воздуха смешивается с приточным в шахте для подачи воздуха в здание ГЭС и помещение трансформаторов.

Параметры приточного воздуха в тёплый период:

$$t_{п} = 19^{\circ}\text{C}; \varphi \leq 60\%$$

Выбор указанных параметров обоснован наличием естественного источника холода – воды глубинных слоев водохранилища с температурой 14°C.

В холодный период года необходимо обеспечить следующие параметры приточного воздуха:

$$t_{п} = 16^{\circ}\text{C}; \varphi \leq 60\% \text{ (для здания ГЭС)}$$

$$t_{п} = 5^{\circ}\text{C}; \varphi \leq 60\% \text{ (для трансформаторного помещения, кабельных туннелей).}$$

Суммарный расход приточного воздуха по всем помещениям на пуск всех агрегатов составляет 797790 м<sup>3</sup>/час.

Приточный воздух по шахте подается в подсводовую часть машзала. Ответвление от шахты выполняется вертикальным и горизонтальным участками туннеля подходящего к зданию ГЭС на отм. 994,600. Затем воздух распределяется по шести приточным шахтам, расположенным вдоль лестниц. Из этих шахт воздух раздается по отметкам здания ГЭС (машзал, пригенераторное помещение, турбинное помещение, проход в конус отсасывающей трубы, проход в лаз спиральной камеры, помещение ТВС).

Воздухообмен в машзале определен на ассимиляцию теплоизбытков от технологического оборудования и принят равный однократному.

Удаление воздуха из машзала и монтажной площадки – под перекрытием машзала через регулирующие решетки и далее воздуховодами к двум центробежными вентиляторам. Вытяжные воздухопроводы располагаются в подсводовой части машзала, которая разделена перегородкой с приточной частью. Вентиляторы расположены также в подсводовой части на перекрытии между вторым и третьим агрегатами, и подают воздух в канал, где смешивается с приточным воздухом, подходящим к подсводовой части машзала. При пожаре воздух



перекрывается в канал воздушными заслонками и далее воздух удаляется по вытяжному отсеку шахты.

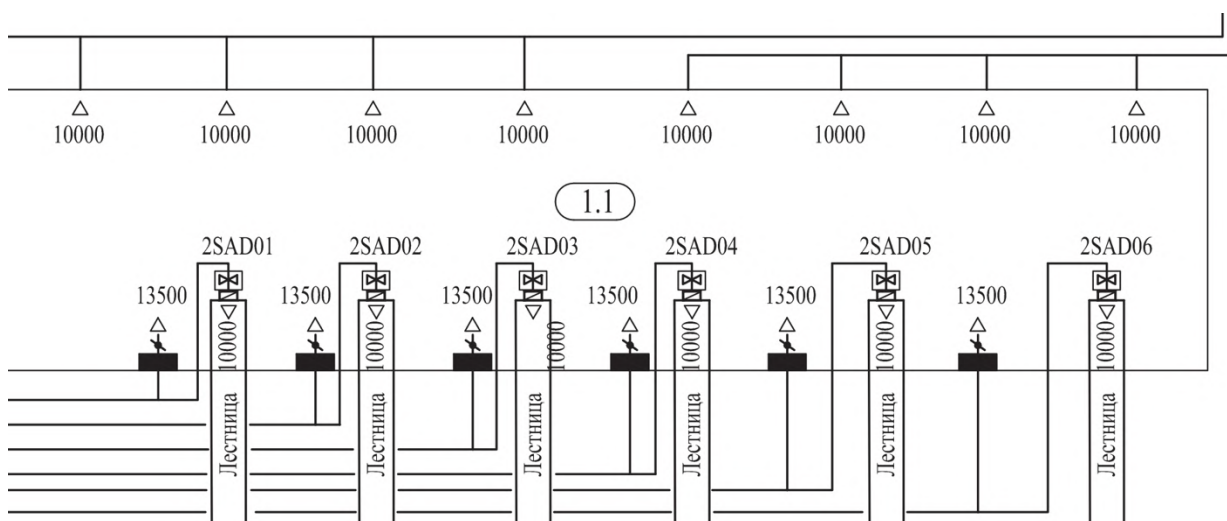


Рисунок 3 - Фрагмент принципиальной схемы системы вентиляции машзала Рогунской ГЭС

## ВЫВОДЫ

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что несмотря на сложность вопроса проектирования систем вентиляции и кондиционирования в подземных ГТС, данная проблема была решена в подземном комплексе сооружений Рогунской ГЭС. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха были спроектированы с учётом всех особенностей таких сооружений и соблюдены принципы энергоэффективности и надёжности применяемого оборудования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
2. СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003.
3. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
4. Подземные гидротехнические сооружения. Куперман В.Л., Мостков В.М., Илюшин В.Ф., Гевирц Г.Я., Москва, Энергоатомиздат, 1996.
5. Гидротехнические сооружения: Учеб. для вузов: В 2 ч./ Под ред. Л. Н. Рассказов. – Москва, АСВ, 2011.
6. Ventilation in Underground Mines and Tunnels. Approved code of practice. New Zealand.

7. Ventilation and environmental control of underground spaces: a short review. Angui Li, Risto Kosonen, Arsen Melikov, Bin Yang, Thomas Olofsson, Bjørn Sørensen, Linhua Zhang, Ping Cui, and Ou Han, 2019.
8. Jinping ii mega hydropower project, China. Wu Shiyong, Xia-Ting Feng, L. Ribeiro Esousa, 2010.
9. Журнал "Горная Промышленность" №3, 2002. <https://mining-media.ru/ru/article/ekonomicheskoy-otsenki-resursov-podzemnogo-prostranstva>
10. Журнал "Гидротехническое строительство" №6, 1980.
11. Кондиционирование воздуха в подземных сооружениях. М. Рубине - Москва, Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963.
12. Вентиляция при строительстве подземных сооружений. Мостепанов Ю.Б., Веденин А.Н., Ленинград, Стройиздат, 1988.

# ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОБОЙНОГО КОЛОДЦА ГЭС В УЗБЕКИСТАНЕ

**Майборода В.В.**

*студент 2 курса 18 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Остякова А.В.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры ГиГС МГСУ*

## **Аннотация**

В республиках Средней Азии мероприятия по устранению дефицита водных ресурсов всегда имели актуальность. В последние годы начато строительство каскада ГЭС в Узбекистане. На примере Пскемской ГЭС в статье производится гидравлический расчет конечного сооружения энерговодосбросного тракта, выполненного в виде водобойного колодца с расширяющейся начальной частью, скошенной водосливной частью, с водобойной стенкой в конце.

Показано, что энергия водного потока в водобойном колодце гасится значительно, скорости падают почти в 5 раз.

**Ключевые слова:** водобойный колодец, гидравлический расчет, гидроузел.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Использование водных ресурсов Узбекистана определяется, прежде всего, засушливостью климата, растущей численностью населения и требованиями охраны окружающей среды.

В последние годы глобальное потепление плохо сказывается на системе водоснабжения Республики Узбекистан. На сегодняшний день наблюдается недостаток воды не только для сельскохозяйственных целей так как основные выращиваемые в регионе культуры — это хлопок, рис и бахчевые, которые требуют ежедневного полива, но и для бытовых нужд населения. Уровень нагрузки на существующие водные системы в Узбекистане оценивается как критический. К огромным потерям воды (примерно до 50%) приводит изношенность ирригационных систем, которые были созданы еще в советские годы. Также негативно на данную ситуацию влияет существующий режим водопользования на гидроэнергетических сооружениях – летом вода накапливается в водохранилищах и недоступна для аграриев. Противоположная ситуация наблюдается зимой, когда для выработки дополнительной электроэнергии вода сбрасывается в реки, в то время, когда потребности в поливе уже нет.

В настоящее время гидротехнический потенциал рек Республики Узбекистан используется всего наполовину, что является очень маленьким показателем для страны, которая изобилует горными реками в юго-восточной части Республики. На 2020 год генерирующая мощность электроэнергии Узбекистана составляет 12,9 тыс МВт, на долю ГЭС приходилось лишь 1,85 тыс МВт, то есть порядка 14,3 %.

10 декабря 2021 года было принято Постановление №ПП-44 «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию гидроэнергетики», согласно которому определены основные важные направления дальнейшего развития гидроэнергетики Республики и эффективного использования имеющегося гидроэнергетического потенциала, одно из которых это увеличение мощности гидроэлектростанций республики до 3,4 тыс. МВт к 2030 году путем ускорения создания новых мощностей и поэтапной модернизации действующих за счет широкого использования экологически чистых источников энергии.

Республика Узбекистан на текущий момент планирует строительство порядка 20 крупных ГЭС с вводом в эксплуатацию в ближайшие 5 лет, что увеличит генерируемую мощность электроэнергии в стране на 740 МВт в год.

В сложившейся неблагоприятной ситуации данные решения позволят стране сократить объемы импорта электроэнергии из Кыргызстана и Таджикистана, который пришлось возобновить с недавних пор в связи с растущей потребностью населения и промышленности, особенно в пиковую нагрузку в зимнее время, а также позволит в большей части создать необходимую инфраструктуру для решения возникшей проблемы – дефицита воды.

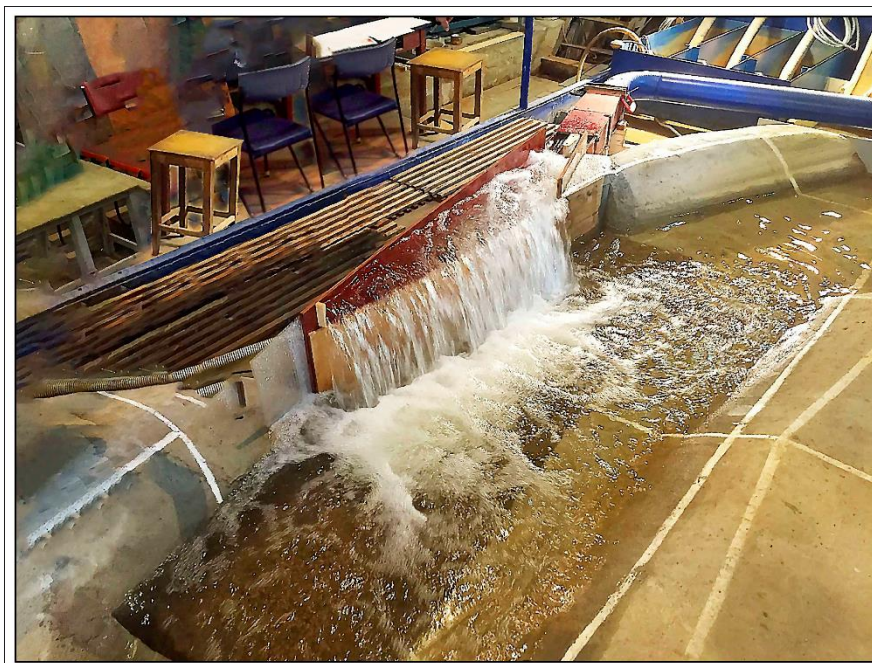
Данная работа направлена на изучение текущего состояния гидрологического режима рек в области строительства Пскемкой ГЭС для дальнейшего подбора сопрягающего сооружения, который бы отвечал надежности и необходимой пропускной способности расчетного расхода воды [1].

Цель работы – расчетное обоснование гидравлических режимов работы, а также уточнение оптимальной конструкции водобойного колодца, удовлетворяющей одновременно следующим качествам – таким, как надежность и долговечность.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Исходными данными для гидравлических расчетов водобойного колодца являются многолетние результаты наблюдения за стоком реки Пскем, а также имеющиеся проектные решения, разработанные в Узбекистане.

Расчет гидравлических режимов работы рассматриваемого сооружения (водобойного колодца) производится на основании материалов обширных лабораторных исследований и обобщения всех имеющихся материалов, подходящих под рассматриваемый случай [2, 3]. Водобойный колодец является частью энерговодосбросного тракта строящейся Пскемской ГЭС, который представляет собой туннель диаметром 6,5 м. По мере наполнения водохранилища энерговодосбросной тракт работает сначала в строительный период, а затем в эксплуатационный период. Туннель меняет форму в затворной камере с круглой на прямоугольную, его выходное сечение является началом рассматриваемого сооружения водобойного колодца. Так как при НПУ действующий напор составляет почти 200 м, необходимо было запроектировать водобойный колодец таким, чтобы в нем максимально гасилась энергия воды. Для этого в конструкции водобойного колодца предусмотрено расширение в начальной его части, устройство скошенной водосливной части и водобойная стенка по всей ширине в конце. На рис. 1 показана работа модельного водобойного колодца данной конструкции, испытания проводились во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева.



**Рисунок 1** - Фото лабораторных исследований гидравлических режимов водобойного колодца

В связи с тем, что расчет производится для нестандартной конструкции, стоит задача расчета гидравлических характеристик для оптимальной работы водобойного колодца.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Концевое сооружение энерговодосбросного тракта на правом берегу строящейся Пскемской ГЭС в Бостанлыкском районе Ташкентской области представляет собой

водобойный колодец, образованный водобойной стенкой. Проектное решение предусматривает следующие параметры.

Выходная часть завершает выход потока воды из туннеля диаметром 6,5 м, выходное сечение после затворной камеры имеет прямоугольную форму размером: ширина 8,5 м, высота 5 м.

Колодец имеет вначале расширяющуюся часть на участке длиной по оси 14,35 м, а далее часть колодца имеет скошенную в плане форму, в виде треугольника. Таким образом, в образованном водобойной стенкой колодце гасится энергия выходящего из туннеля потока воды.

Расчеты ведутся в предположении работы туннеля (и конечного участка) – в напорном режиме при  $Q_{\text{расч}} = 612 \text{ м}^3/\text{с}$ .

$$\text{Площадь круглого сечения туннеля: } \omega_{\text{круг}} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi * 6,5^2}{4} = 33,16 \text{ м}^2$$

Скорость течения на выходе из туннеля в затворную камеру равна:

$$v = \frac{Q_{\text{расч}}}{\omega_{\text{круг}}} = \frac{612 \text{ м}^3/\text{с}}{33,16 \text{ м}^2} = 18,45 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Выходное сечение после затворной камеры становится прямоугольное:  $B = 8,5 \text{ м}$ ,  $H = 5,0 \text{ м}$ . После затворной камеры водный поток выходит в водобойный колодец. Площадь выходного сечения и скорость в нем равны

$$\omega_{\text{пр}} = 8,5 * 5,0 = 42,5 \text{ м}^2$$
$$v = \frac{Q_{\text{расч}}}{\omega_{\text{пр}}} = \frac{612 \text{ м}^3/\text{с}}{42,5 \text{ м}^2} = 14,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

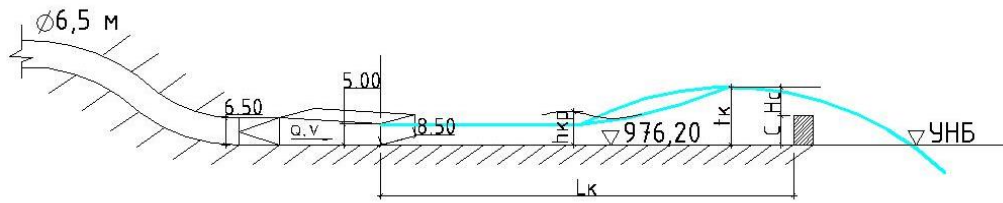
Концевой участок туннеля устроен в виде колодца, образованного водобойной стенкой, с расширением вначале и с боковым сливом воды в нижний бьеф. Водобойная стенка и образованный ею водобойный колодец устраиваются для исключения отгона гидравлического прыжка и гашения энергии водного потока, а также скорости течения перед тем, как вода сбрасывается в нижний бьеф.

При  $Q_{\text{расч}} = 612 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$  отметка верхнего бьефа  $\nabla \text{ВБ} = 1166,00 \text{ м}$ , поэтому действующий напор равен  $\nabla \text{З} = 1166,00 - 976,2 + 5,0 = 194,8 \text{ м}$ .

Рассчитаем длину гидравлического прыжка в водобойном колодце [4-6]. Так как колодец в плане имеет сложную форму, для предварительных расчетов будем использовать длину колодца по оси (рис. 2). Длина конечного участка по оси 49,0 м до водобойной стенки, то есть  $L_k = 49 \text{ м}$ .

$$L_k = 0,8L_{\text{пр}},$$

где  $L_{пр}$  – длина гидравлического прыжка,  $L_{пр} = \frac{49}{0,8} = 61,25$  м.



**Рисунок 2** - Схема расчета гидравлического прыжка

### Расчет режима движения воды в водобойном колодце

Определим число Рейнольдса при  $H = 5,0$  м,  $B = 8,5$  м.

$$R_e = \frac{v \cdot 4R}{\vartheta}, \text{ где } R \text{ – гидравлический радиус.}$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{BH}{2(H+B)} = \frac{42,5}{2 \cdot (8,5 + 5)} = 1,574 \text{ м,}$$

где  $\chi$  – смоченный периметр.

$$R_e = \frac{10,56 \cdot 4 \cdot 1,574}{0,01} = 6649 > R_{ek} = 2300 \text{ – турбулентный режим течения.}$$

### Определение удельного расхода и критической глубины

Удельный расход при  $Q_{расч}$ :  $q = \frac{Q}{B} = \frac{612}{8,5} = 72 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ , тогда критическая глубина при  $Q_{расч}$  равна

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1,05 \cdot 72^2}{9,81}} = 8,21 \text{ м.}$$

Для расширяющегося в плане части колодца уточним критическую глубину. Для этого нужно построить график зависимости удельной энергии сечения от глубины  $\mathcal{E} = f(h)$  (рис. 3). Минимум функции  $\mathcal{E}$  и дает значение аргумента, то есть  $h_k$ .

Сравним величины критической глубины  $h_k$ , рассчитанную по формулам выше, для прямоугольного сечения и величину  $h_k$ , определенную по графику функции:

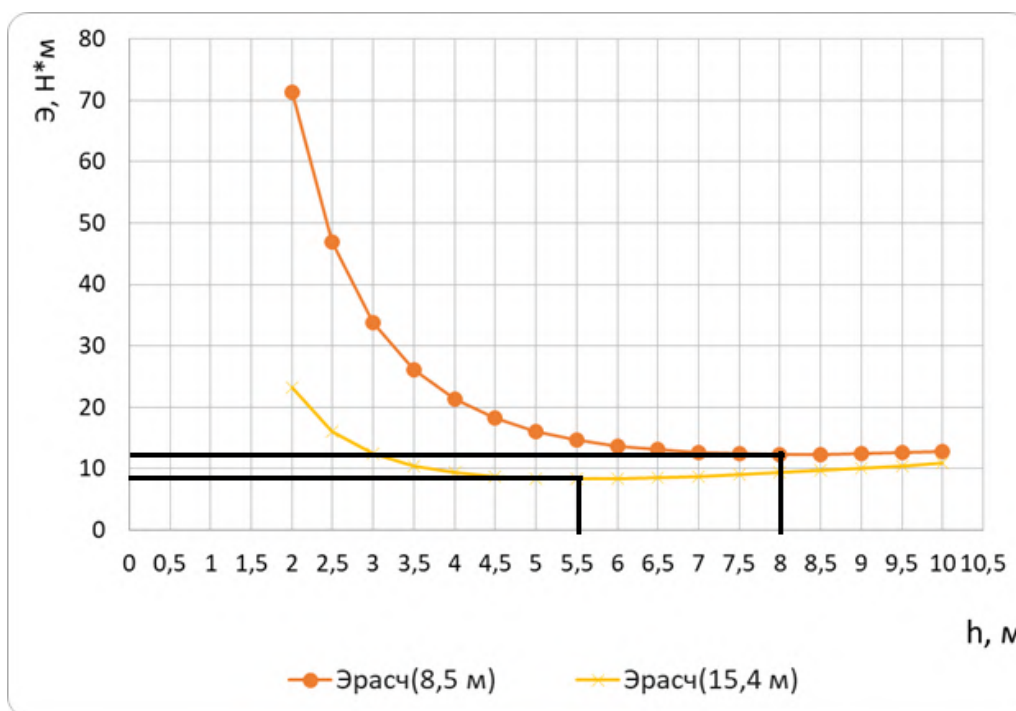
$$\mathcal{E} = f(h) = h + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2},$$

где  $\omega = BH$  — площадь сечения,  $\text{м}^2$ ,

$Q_{расч} = 612 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$  — расчётный расход,

$\alpha = 1,05$  — коэффициент Кориолиса.

На графике при одной глубине рассчитана удельная энергия сечения  $\mathcal{E}(h)$  в выходном сечении, при выходе потока из туннеля, и в сечении в конце расширяющегося участка водобойного колодца.



**Рисунок 3** - График зависимости энергии от ширины потока

В соответствии с графиком функции критическая глубина при  $Q_{\text{расч}}$  равна  $h_k = 8,0$  м, в выходном сечении, при  $B = 8,5$  м, что соответствует критической глубине, вычисленной по формуле для прямоугольного сечения.

На участке расширения от  $B = 8,5$  м до  $B = 15,4$  м критическая глубина меняется от  $h_k = 8$  м до  $h_k = 5,5$  м, происходит гашение энергии потока, это одна из особенностей конструкции данного водобойного колодца.

Расчет раздельной глубины и глубины воды в колодце

Принимаем в напорном режиме работы туннеля сжатую глубину  $h_c = 5,0$  м, тогда раздельная глубина при  $Q_{\text{расч}}$  равна:

$$h_{\text{разд}} = \frac{h_c}{2} \left[ \sqrt{1 + 8 \left( \frac{h_k}{h_c} \right)^3} - 1 \right] = \frac{5,0}{2} \cdot \left[ \sqrt{1 + 8 \cdot \left( \frac{8}{5,0} \right)^3} - 1 \right] = 12,03 \text{ м.}$$

После нахождения критической глубины уточним длину гидравлического прыжка по формуле при расчетном расходе  $Q_{\text{расч}}$  по формуле М.Д. Чертоусова:

$$L_{\text{пр}} = 10,3 h_c \left[ \sqrt{\left( \frac{h_k}{h_c} \right)^3} - 1 \right]^{0,81} = 52,49 \text{ м.}$$

Глубина воды в водобойном колодце при  $Q_{\text{расч}}$  равна:



$$t_k = 1,05h_{\text{разд}} = 1,05 * 12,03 = 12,63 \text{ м.}$$

### Расчет высоты водобойной стенки

При гидравлическом расчете водобойной стенки определяют ее высоту  $c$  и длину образованного стенкой колодца  $l_k$ . Длина колодца определена выше, она равна 49 м согласно проектной документации.

Высота стенки (рис. 4) рассчитывается по формуле:

$$c = t_k - H_{\text{ст}}$$

где  $H_{\text{ст}}$  – напор на стенке, который рассчитывается по формуле:

$$H_{\text{ст}} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{m_{\text{ст}}^2 \sigma_{\text{ст}}^2 B_k^2 2g}} - \frac{\alpha V_{\text{кол}}^2}{2g},$$

где  $V_{\text{кол}}$  - средняя скорость потока в колодце,  $V_{\text{кол}} = \frac{Q}{t_k B_k} = \frac{612}{12,63 \cdot 15,4} = 3,15 \text{ м/с}$ ,

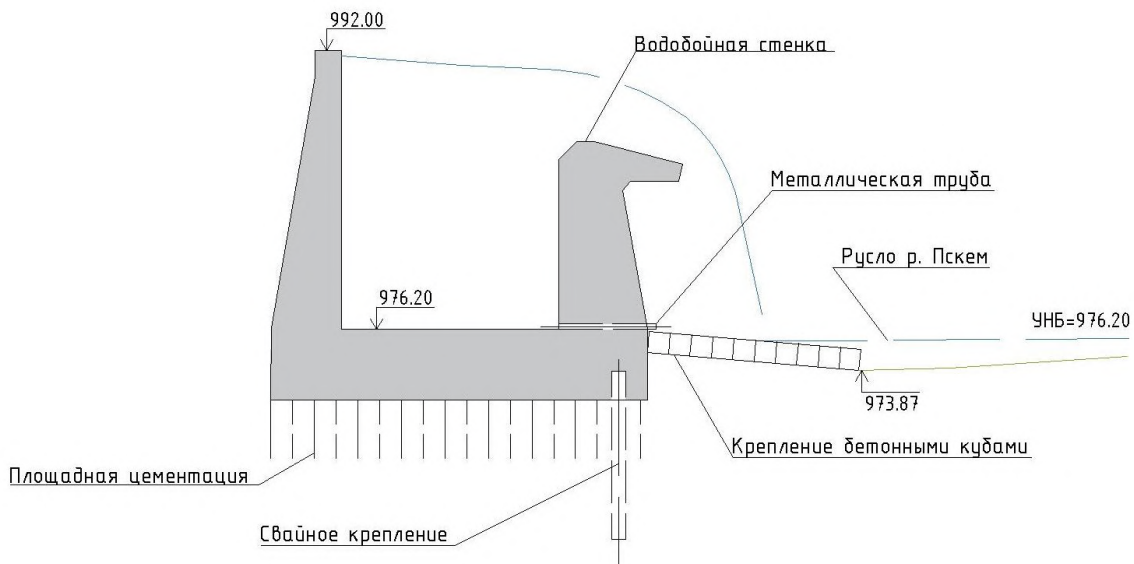
$m_{\text{ст}}$  – коэффициент расхода стенки, примем  $m_{\text{ст}} = 0,43$ ,

$\sigma_{\text{ст}}$  – коэффициент подтопления стенки, примем  $\sigma_{\text{ст}} = 1$ .

Тогда при расчетном расходе напор на водобойной стенке равен:

$$H_{\text{ст}} = \sqrt[3]{\frac{612^2}{0,43^2 \cdot 15,4^2 \cdot 2 \cdot 9,81}} - \frac{1,05 \cdot 3,15^2}{2 \cdot 9,81} = 8,1 \text{ м.}$$

Высота стенки в водобойном колодце в этом случае равна 4,52 м.



**Рисунок 4 - Поперечный разрез водобойного колодца**

Следует учесть, что при данной скорости подхода воды к водобойной стенке, работающей, как водослив, напор на стенке и глубина воды в колодце уменьшатся на величину скоростного напора.

## **ВЫВОДЫ**

Рассматриваемая конструкция водобойного колодца является комбинированной, довольно сложной как для проектирования, так и для производства гидравлических расчетов. Полученные результаты основаны на имеющихся проектных решениях. Так как начальный участок колодца является расширяющимся, рассчитаны скорости потока и глубины в начале и в конце водобойного колодца, с учетом гидравлического прыжка. Концевая часть водобойного колодца конструктивно представляет собой скошенную водосливную часть с водобойной стенкой. Рассчитаны гидравлические параметры в колодце и высота водобойной стенки.

Параметры водобойного колодца, полученные при гидравлических расчетах, помогут уточнить проектные величины строящегося гидроузла в Узбекистане.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Сангинов А.А. Выбор варианта конструкции плотины Пскемской ГЭС // Гидротехника. - 2020. - № 4. - С. 14-17.
2. Рассказов Л.Н. Гидротехнические сооружения Часть 2/Орехов В.Г., Анискин Н.А., Малаханов В.В., Бестужева А.С., Саинов М.П., Солдатов П.В., Толстиков В.В. – Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – С. 575.
3. Горохов Е.Н. Речной гидроузел: учебное пособие/Ежков А.Н., Соболев И.С. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2018. – С. 154.
4. Киселев П.Г. Гидравлика. Основы механики жидкости. – Москва: Энергия, 1980. – С. 360.
5. Справочник по гидравлическим расчетам/ Под ред. П.Г. Киселева. – Москва: Энергия, 1980. – С. 312.
6. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: Справочное пособие. – Москва: Энергоиздат, 1988. – С. 624.

# СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА ВОДЫ РЕКИ МИНЬЦЗЯН ПРОВИНЦИИ СЫЧУАНЬ

**Ли Юнпань**

*студент 4 курса 13 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Глотко А.В.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

В докладе рассмотрена система сооружений на реке Миньцзян, которые были построены несколько тысячелетий назад и функционируют до сих пор и известны под именем Дуцзяньянь (провинция Сычуань). В состав системы изначально входило три главных сооружения: разделительная дамба, канал и переливная дамба для сбросов излишков воды. В настоящее время система сооружений значительно выросла и продолжает развиваться. Создание системы Дуцзяньянь позволило превратить область, на которую оказывает влияние регулирование воды сооружениями в процветающую провинцию. В 2000 году гора Цинчэн и система Дуцзяньянь включены Комитетом по наследию ЮНЕСКО в список всемирного наследия

**Ключевые слова:** Китай, Дуцзяньянь, регулирование русла, Баопинкоу, Фейшяан.

## **ВВЕДЕНИЕ**

История китайской гидротехники насчитывает несколько тысячелетий, что связано со сложными гидрологическими условиями проживания людей, которые боролись с негативным влиянием воды. Проект создания водной системы Дуцзяньянь (Рисунок 1) является старейшим проектом в мире по регулированию стока реки, который функционирует до настоящего времени. Она была построена в 256 г. до н.э. и насчитывает период эксплуатации более 2260 лет.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В качестве исходной информации были использованы открытые данные о системе сооружений, их истории и современном состоянии [1-7].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Река Миньцзян является крупным притоком Янцзы в верхнем ее течении длиной 793 км и средним уклоном 4.83 ‰. Площадь водосбора составляет 140000 км<sup>2</sup>, Общий объем

воды  $\approx 15$  млрд.м<sup>3</sup> /год. Система сооружений находится на границе перехода полугорной и равнинной участков реки, резкое изменение уклонов которых приводило к негативным процессам. В период дождей большой объем воды с огромной скоростью выходил из ущелья в широкую долину и разливался на больших площадях затопливая постройки и поля. А в период межени воды не хватало.

Проблема региона началась решаться во время правления Цинь Чжаосян, когда префектом уезда Циньшу стал Ли Бин. Под его руководством несколько тысяч человек (по другим источникам более 10 тысяч человек) в течение нескольких лет строили систему сооружений, которая успешно справляется и в настоящее время. Ее современное название Дуцзяньянь. К этому названию был долгий путь. С момента постройки до династии Цинь и Хань она носила название Цзяньюй (потому что рядом гора Цзяньшань). В период Троецарствия (237-238 г.н.э.) рядом с сооружениями был основан уезд Дуань (округ Дуцзяньянь), который в этот период носил название «золотая набережная». В период династии Тан округ Дуцзяньянь переименовали в Цинвэйянь. Первое упоминание системы как Дуцзяньянь относится к династии Сун (960-1279 г. н.э.). И под этим названием объединялась вся водная система, включающая в себя все оросительные каналы, реки, сооружения. Заслуги автора проекта были высоко оценены и правительством и народом Китая. Известен памятник ему в храме Эрванг, который был создан во времена правления династии Восточная Хань (25-220 гг. н.э.).



Рисунок 1 - Схема расположения сооружений

В проекте было применено регулирование стока воды, целью которого в период половодья не затопливать территорию, а в период межени снабжать нуждающиеся в воде области. Для этого были сделаны два сооружения. Первое – закрепленный стабилизированный остров (дамба рыбий рот), отсыпанный до незатопляемых отметок, который делил поток воды на рукава Нейцзян (левый) и Вайцзян (правый). У первого было назначение перенаправлять поток в оросительную систему каналов. В период межени по нему проходит 60% от общего стока, а в период паводка – 40%.

В качестве материалов для строительства использовались местные строительные материалы – бамбук и камни, из которых сплетались корзины, напоминающие по форме, но не по технологии исполнению фашины (Рисунок 2). Исторически положение дамбы Рыбий рот сильно изменилось. Это связано с интенсивными русловыми процессам в реке, которые разрушали дамбу и необходимо было ее периодически восстанавливать. При этом учитывались недостатки предыдущих версий. Дамба рыбий рот была полностью смыта землетрясением и наводнением 1933 г. После перестройки в 1935 г. она переместилась на 10 м от рукава Нейцзян к Вейцзян.. В конце 1973 года, был выполнен капитальный ремонт расширили голову острова на 10 м и увеличили высоту. В ходе ремонта и укрепления в 2002 г. верхняя часть головы острова была поднята еще на 0,15 м.



**Рисунок 2** - Конструкция регулиционных сооружений Древнего Китая  
(реконструкция)

Второе сооружение Баопинкоу (горлышко драгоценной вазы) – канал шириной 20 м и длиной 36 метров, прорубленный в скале (за 8 лет) без использования взрывчатки, прорубленный в скале за 8 лет без использования взрывчатки. На этом сооружении был устроен самый древний в Китае уровнемер для наблюдения за уровнем воды. Название получил он «Правило воды» и использовался также для восстановления разрушаемых периодически сооружений «Рыбий рот» и Фейшаян.

Для исключения возникновения катастрофы, связанной с паводком редкой повторяемости было предусмотрено третье сооружение – Фейшаянь (дамбы летучих песков) – это переливаемая грунтовая дамба. Если в Нейцзян  $3000 \text{ м}^3 / \text{с}$ , то в Баопинкоу попадает не выше  $700 \text{ м}^3 / \text{с}$  остальное уходит через Фейшаянь вместе с основной массой наносов. В паводок она могла разрушиться и излишек воды из Нейцзян переходил в Вайцзян. После этого ее восстанавливали.

В регулировании потока участвуют набережные, которые были изготовлены из бамбуковых клеток с галькой. Известны следующие набережные:

- Байчжан (расположена на левом берегу реки Миньцзян, начинается от скалы Гуаньинь и спускается к верховьям устья Нэйцзян). Спрямяла выше по течению от дамбы Рыбий рот левый берег реки, чтобы поток по прямой подходил к ней
- Кинг-Конг (Золотая набережная) проходит по контуру дамбы Рыбий рот.

После основания Китайской Народной Республики ирригационная система в Дуцзяньяне постоянно расширялась и обновлялась. В 1960-х годах орошаемая площадь достигла 6,78 млн. К началу 1980-х годов район Пу расширился к востоку от горы Лунцюань и построил около 300 водохранилищ, площадь увеличилась до более чем 10 млн поверхностей, а общий объем забора воды на орошение достиг 10 миллиардов кубических метров, что на сегодняшний день делает его крупнейшим проектом по управлению водными ресурсами в мире.

## **ВЫВОДЫ**

Система Дуцзяньянь использует метод отвода воды для орошения без плотины. Площадь ирригационной зоны Дуцзяньянь значительно расширилась за период времени более 2000 лет. Проект водного хозяйства Дуцзяньянь изначально содержал в себе механизм управления и технического обслуживания сооружений в период эксплуатации. Во время правления императора из династии Линга были назначены чиновники, которые отвечали за ремонт. При династии Сун была сформулирована система ежегодного ремонта, которая

применяется и по сей день. Были закреплены законодательно правила работ по ремонту: все работы производились в период когда не велись сельскохозяйственные работы. Такой подход позволил сохранить эту уникальную систему гидротехнических сооружений до наших дней.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%83%BD%E6%B1%9F%E5%A0%B0>
2. <http://www.travelchinatour.com/sichuan-china/dujiangyan-irrigation-system-1.html>
3. 關於重新公布全省文物保護單位名單的通知，四川省人民政府，一九八〇年七月七日，川府發（1980154號文件
4. 『國務院關於公布第二批全國重點文物保護單位的通知』，國發〔1982〕34號，1982年2月23日
5. 李冰只是神话人物 修都江堰另有其人？. 新浪. 2004-09-03 [2018-08-14]. (原始内容存档于2018-08-14) .
6. <http://tech.sina.com.cn/d/2004-09-03/1330418464.shtml>  
[http://www.chinaheritageneewsletter.org/features.php?searchterm=001\\_water.inc&issue=001](http://www.chinaheritageneewsletter.org/features.php?searchterm=001_water.inc&issue=001)

**СЕКЦИЯ GEOTEХНИЧЕСКОЕ И ПОДЗЕМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**



## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СКАЛЬНЫХ ТРЕЩИНОВАТЫХ ГРУНТОВ

**Митин В.В.**

*студент 6 курса 11 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Минин К.Е.**

*аспирант кафедры МГИГ НИУ МГСУ*

### **Аннотация**

До 30-ых годов прошлого века считалось, что деформациями основания, представленного скальными грунтами, можно было пренебречь. Но позднее результаты испытаний трещиноватых скальных грунтов показали, что их деформационные характеристики резко отличаются в зависимости от параметров трещиноватости, а учет масштабного фактора показал необходимость создания моделей, описывающих поведение всего скального массива. Большинство современных методик по определению деформационных характеристик скального массива базируются на эмпирических зависимостях, которые применимы для конкретной площадки строительства, где и проводились испытания по их определению.

Целью исследования является определение функции регрессии для нахождения модуля деформации фрагмента блочного скального массива в зависимости от показателя качества скального массива RQD и прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{ci}$ .

Для достижения поставленной цели использовалась комбинация двух методов исследования, а именно, метода планирования экспериментов и метода конечных элементов.

В результате обработки проведенных испытаний были получены уравнения регрессии, которые позволяют определить модуль деформации фрагмента блочного скального массива в зависимости от выбранных факторов.

**Ключевые слова:** трещиноватый скальный массив, модуль деформации, метод планирования экспериментов, метод конечных элементов, численное моделирование.

### **ВВЕДЕНИЕ**

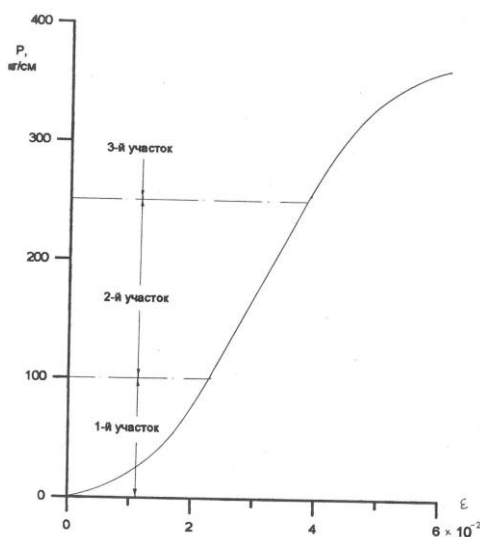
Скальные грунты являются наиболее надежным основанием для возведения зданий и сооружений. До 30-ых годов считалось, что деформациями основания, представленного скальными грунтами, можно было пренебречь. Результаты испытаний показали, что деформационные характеристики скальных грунтов отличаются в зависимости от

параметров трещиноватости, а учет масштабного фактора показал необходимость создания моделей, описывающих поведение всего скального массива.

Существует большое количество систем для классификации и оценки скального массива, самые популярные из них, RMR [1], Q-system [2], GSI [3], RQD [3]. Они описывают параметры, влияющие на деформационные характеристики скального массива.

Большинство методик по определению деформационных характеристик скального массива базируются на эмпирических зависимостях [1, 2, 3], которые применимы для конкретной площадки строительства, где и проводились испытания по их определению.

На основании проведенных испытаний было выявлено, что график деформирования скального фрагмента можно разделить на 3 характерных участка (рис.1) [4]. Для первого участка деформирования характерна нелинейность, обусловленная работой межблочных трещин – их смыканием и частичным сдвигом. Второй участок чаще всего - линейный, поскольку происходит деформирование структурных блоков. Третий участок нелинейный, поскольку определяется процессами сдвига по межблочным трещинам и микротрещинообразованием блоков.



**Рисунок 1** - График зависимости  $\sigma=f(\epsilon)$

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели использовалась комбинация двух методов исследования: метода планирования экспериментов [5] и метода конечных элементов. Преимущество такой комбинации методов заключается в том, что метод планирования экспериментов позволяет определить количество необходимых параметров и опытов при заданных условиях эксперимента и сформировать уравнение регрессии для нахождения модуля деформации скального массива в зависимости от RQD и  $\sigma_{ci}$ , а метод конечных

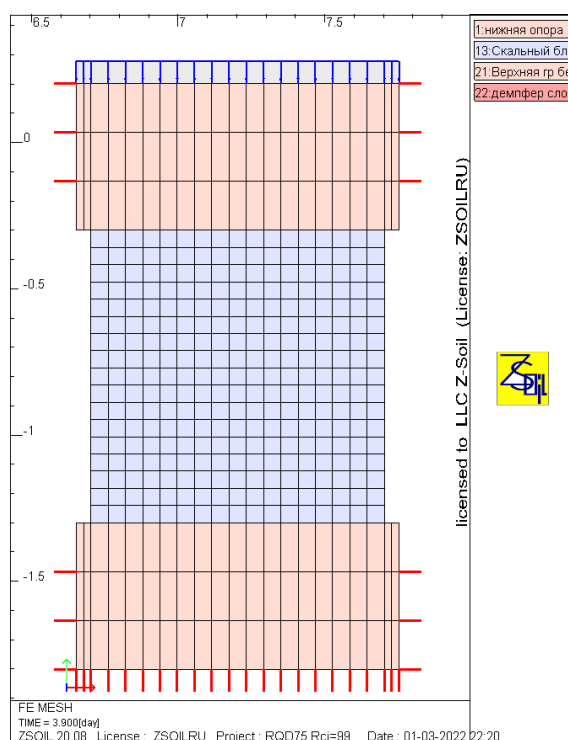
элементов позволяет произвести эксперименты и получить значения функции отклика для последующей обработки.

В качестве независимых параметров были выбраны показатель качества скального массива RQD и прочность на одноосное сжатие  $\sigma_{ci}$ . Матрица планирования представлена в таблице 1.

**Таблица 1.** Матрица планирования экспериментов в явном виде

№ опыта	X <sub>1</sub> (RQD)	X <sub>2</sub> ( $\sigma_1$ )
1	45	50
2	45	95
3	85	50
4	85	95

Для выполнения численных расчётов был использован ПВК ZSoil. Расчетную схему в ПВК представлена на рис.2. В качестве модели поведения скального грунта использовалась модель ХоекаБрауна, которая позволяет учитывать нелинейную работу фрагмента блочного образца скального массива на третьем участке деформирования. Данная модель учитывает следующие характеристика грунта: эмпирические коэффициенты  $m$ ,  $s$ ,  $a$ ;  $\sigma_{ci}$  – прочность на одноосное сжатие, GSI – индекс геологической прочности, связанный с RQD зависимостью  $GSI = 1,5 * J_{cond89} + RQD/2$ . В качестве расчетной схемы было выбрано стандартное испытание грунта на одноосное сжатие [6].



**Рисунок 2** - Расчетная схема в ПВК Zsoil

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате проведенных расчетов были получены значения напряжений и относительных деформаций образца и построен график зависимости  $\sigma(\epsilon)$  (рис.3-6). Также были получены значения функции отклика для каждого из участков деформирования (таблица 2).

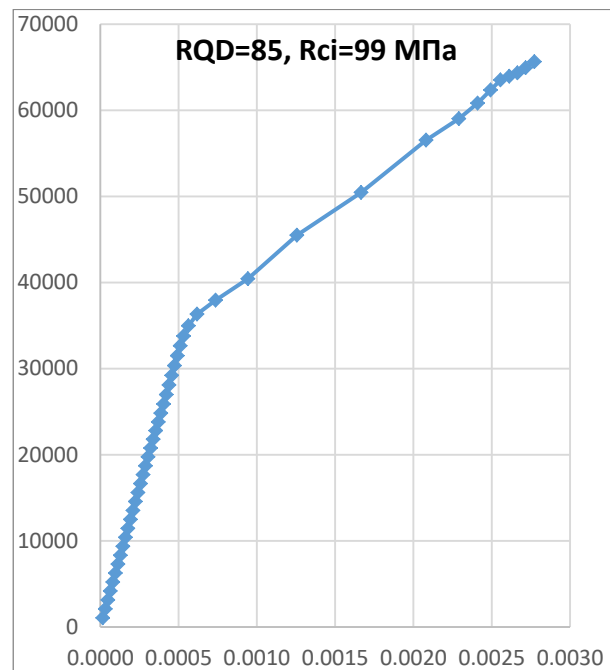
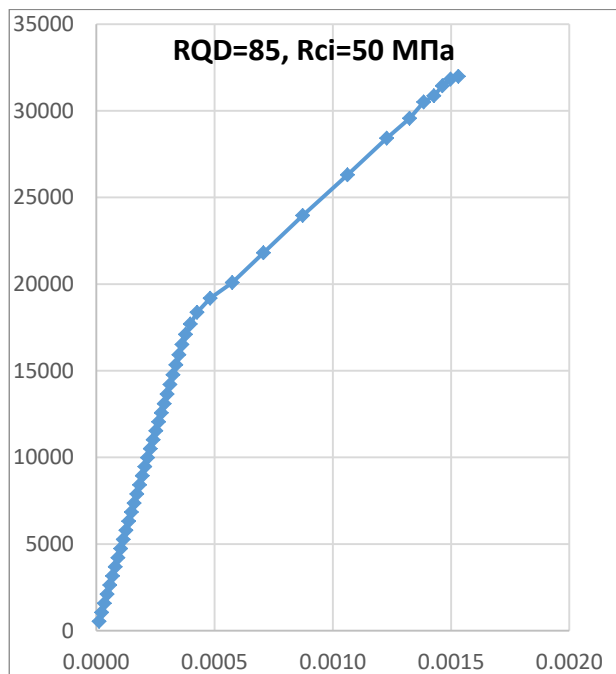


Рисунок 3 - Графики зависимости  $\sigma=f(\epsilon)$  (1)

Рисунок 4 - Графики зависимости  $\sigma=f(\epsilon)$  (2)

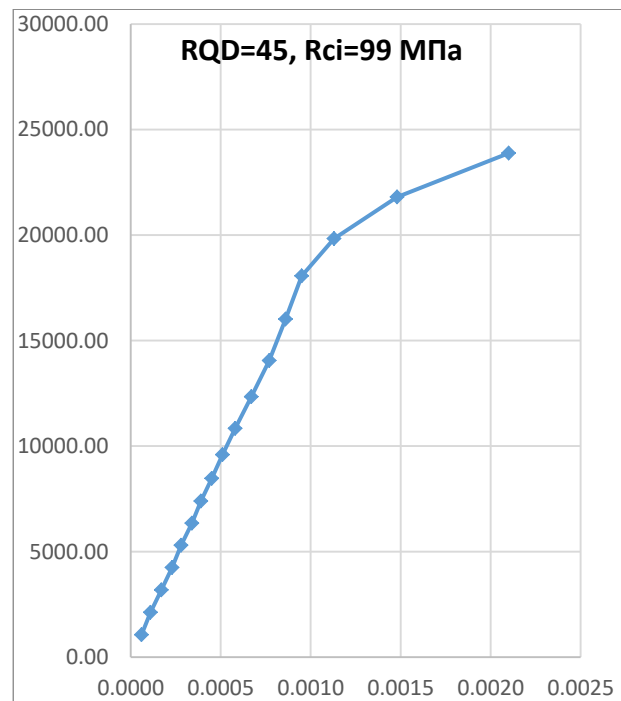
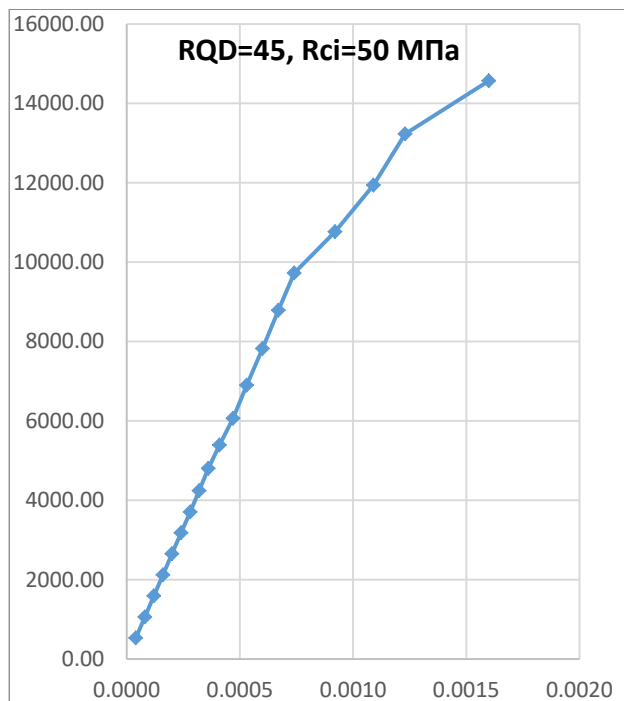


Рисунок 5 - Графики зависимости  $\sigma=f(\epsilon)$  (3)

Рисунок 6 - Графики зависимости  $\sigma=f(\epsilon)$  (4)

**Таблица 2.** Расчетные значения модуля деформации для каждого опыта

№ опыта	X1 (RQD)	X2 ( $\sigma_{ci}$ )	Y (E2), МПа	Y (E3), МПа
1	45	50	12574,33	9106,25
2	45	95	17693,66	11370,95
3	85	50	25447,46	20734,38
4	85	95	33234,52	24191,17

В результате расчетов были получены уравнения регрессии для 2-го и 3-го участков деформирования.

Уравнение для участка 2:

$$E = -11245,69 + 355,17 * RQD + 143,40 * \sigma_{ci};$$

Уравнение для участка 3:

$$E = -8122,57 + 305,60 * RQD + 63,57 * \sigma_{ci};$$

Проверка общего качество уравнений осуществлялась по средствам определения коэффициентов детерминации, которые соответственно составили для каждого из участков:

$R_2 = 0,8$ ;  $R_3 = 0,82$ , что говорит о высокой статистической значимости найденных функций.

## **ВЫВОДЫ**

Таким образом, полученные уравнения регрессии позволяют нам определить модуль деформации скального грунта на определенном этапе деформирования с обобщенным учетом трещиноватости, тем самым учесть нелинейность на третьем участке деформирования. Данная работа в последствии будет расширена, поскольку на данный момент в ней нет учета прочностных и деформационных характеристик трещин, природных условий залегания и прочих факторов, которые влияют на деформационные характеристики скального грунта [7, 8].

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) Bieniawski, Z.T. 1976. 1, 97-106. Cape Town: Balkema;
2. Application of the Q-system in design decisions. In Subsurface space, (ed. M. Bergman), Barton, N., Løset, F., Lien, R. and Lunde, J. 1980. 2, 553-561. New York: Pergamon;

3. The Hoek-Brown Failure criterion – From theory to application, Jianping Zuo, Jiayi Shen, 2020, China University of Mining & Technology-Beijing.
4. Моделирование нелинейного деформирования трещиноватых скальных массивов, диссертация Б.Э. Сакания, Москва, 1997;
5. Методы планирование эксперимента и обработки данных, учеб. пособие, Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016;
6. ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости, Стандартиформ, 2011 год;
7. Геолого-геофизическое определение зон выветривания и разгрузки в гранитах ДнепроГЭС-2 // Труды гидропроекта, с.123-127, Андреев В.Н., Лавров Л.Д., 1976;
8. Морфология трещин и устойчивость массивов // Геология четвертичного периода. инженерная геология, с.148-151, Газиев Э.Г., 1976.

# ОПЫТ УСТРОЙСТВА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И РАСПОРНОЙ СИСТЕМЫ КОТЛОВАНА В СТЕСНЕННЫХ ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

**Кашубин К.П.**

*студент 4 курса 4 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Соболев Е.С.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры МГИГ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Возведение зданий всегда требует больше площади чем итоговое сооружение, это вызвано размещением котлована и строительной площадки. Если со вторым ничего не поделаешь, то с первым можно, а именно убрать откосы котлована, путем устройства ограждения котлована, также это способствует снижению смещений соседствующих сооружений вызванное изъятием грунта из котлована. Это особенно важно, ведь нельзя допускать излишних деформаций и уж тем более их разрушение. Ограждение котлована также позволяет, при наличии расчетов производить его разработку в метре от оси ограждения с помощью экскаватора, что ускоряет работу и увеличивает эффективность.

**Ключевые слова.** Стесненные городские условия, ограждающие конструкции котлована, распорная система, современные методики строительства.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Стесненные городские условия встречаются все чаще, в связи с перестройкой домов, отслуживших своё, возведением новых зданий в крупных городах, удорожания стоимости за квадратный метр земли.

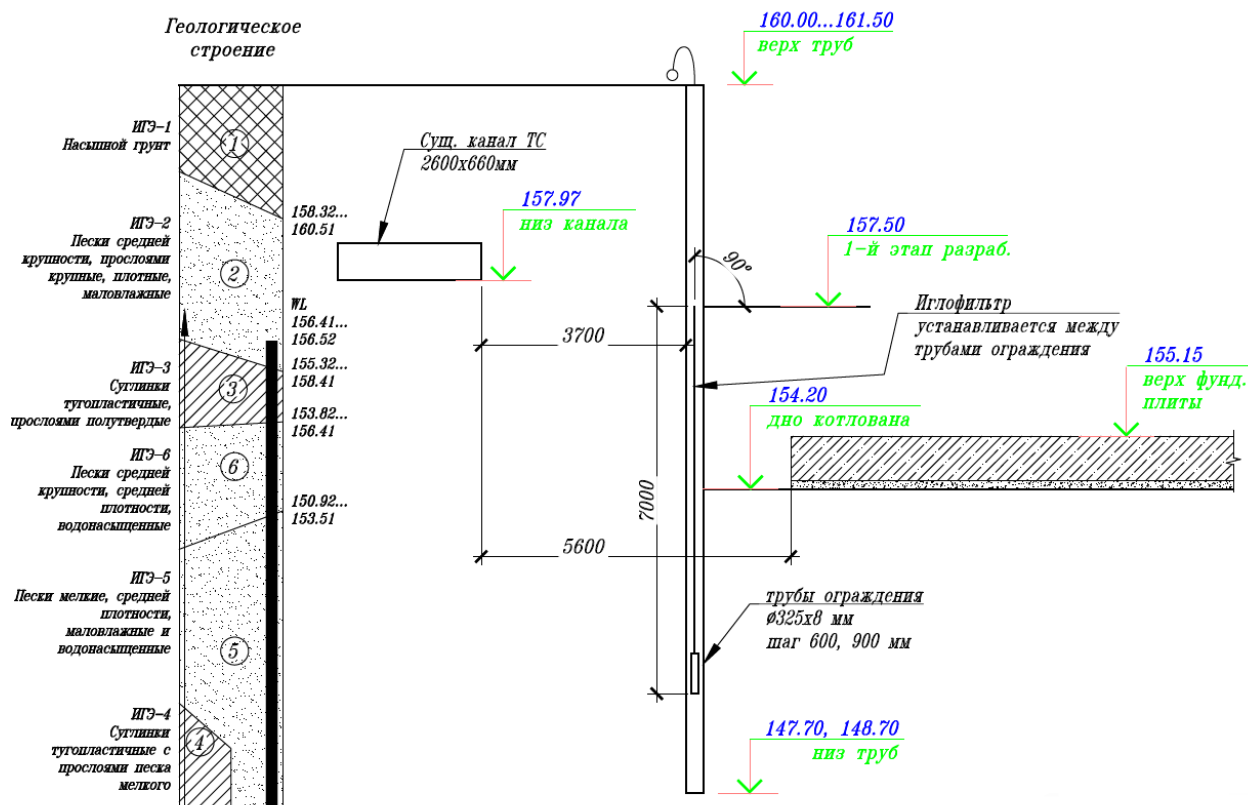
## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В процессе исследования проблемы строительства в стесненных условиях использовался реальный опыт возведения здания. С изучением полной геологии данного места различными способами.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Возводимое здание расположено по адресу г. Москва улица 3-й Новомихалковский проезд, 16А. Строится одновременно два пятнадцатизэтажных жилых дома с одноуровневой подземной парковкой. Связи с этим котлован имеет глубину выработки 5 метров, на всей

глубине не обнаружены агрессивные к бетону грунты. На глубине дна котлована залегает, песок средней крупности, средней плотности, водонасыщенный, который выступает основанием для фундамента.



**Рисунок 1** - Геологическое строение, расположение иглофильтров, высотные отметки

Уровень грунтовых вод расположен на глубине 2,7 метра, поэтому, для разработки котлована и работы в нем устраивают водопонижение, используя иглофильтры длиной 7 метров.

После водопонижения завинчивают стальные трубы 325мм в диаметре и с толщиной стенки 8мм, длина труб от 8 до 12 метров. Часть таких труб заменяется на сваи, изготавливаемые по технологии CFA и после выполнения обратной засыпки, не извлекаются. Для обеспечения совместной работы труб, устраивается распределительный пояс из спаренных двутавров 40Б2 из стали марки С235. Также привариваются стальные уголки для установки деревянной заборки толщиной 50мм, чтоб не осыпался грунт.

Важным этапом является установка распорок и раскосов. До того, как их закрепят в пионерной фундаментной плите оставляют берму, чтобы она забирала часть передаваемых на ограждение давлений, после берму убирают.

Фундамент здания представляет собой монолитную железобетонную плиту толщиной 1200мм, расположенной на бетонной подготовке с гидроизоляцией.



Основные преимущества ограждающих конструкций котлована: позволяют вести строительство в стесненных условиях плотной городской застройки без влияния на окружающие сооружения, уменьшение зоны влияния строительства, уменьшает объем вывозимого грунта, дает возможность разработки более глубокого котлована и более гибкого выбора несущего слоя и конструкции фундамента. У ограждения котлована есть минусы, а именно: удорожание стоимости строительства и проекта, потребность в специальной технике.

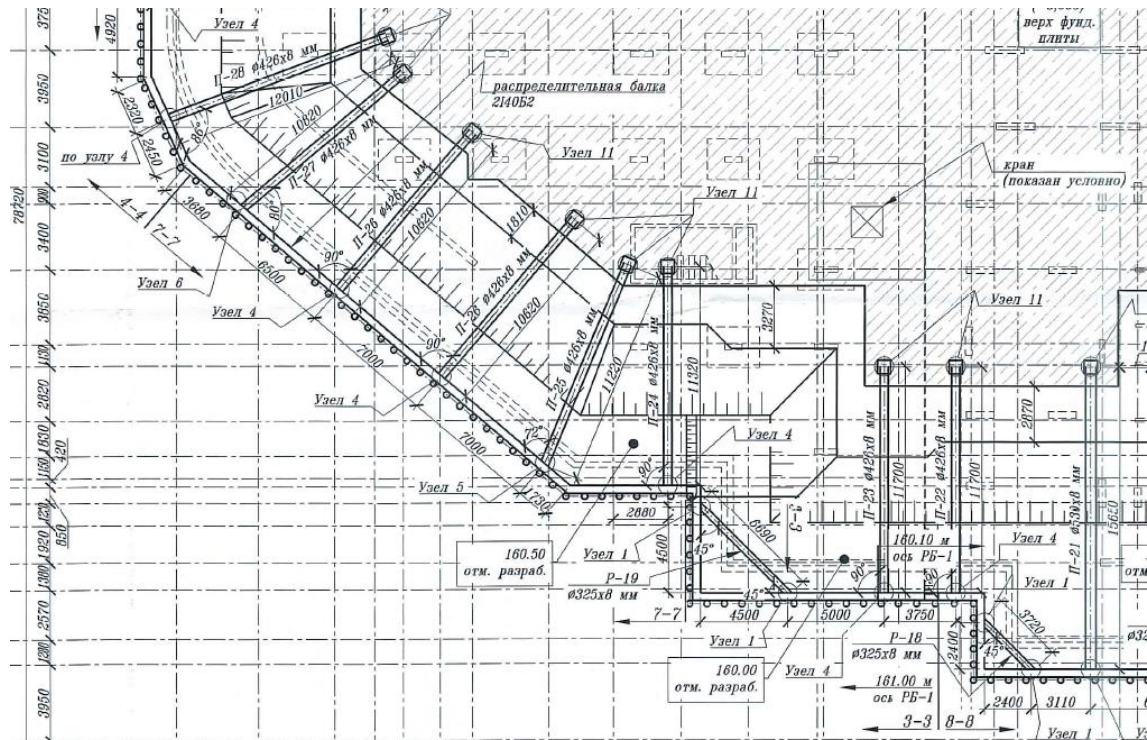


Рисунок 2 - Чертеж участка котлована



**Рисунок 3** - Реализованный проект

На территории Москвы все здания расположены в непосредственной близости друг от друга. Ограждающие конструкции минимизируют воздействие, вызванное разработкой грунта в зоне строительства, на окружающую застройку и минимизирует влияние нагрузок от возведенных зданий на котлован в процессе строительства.

## **ВЫВОДЫ**

Сделан вывод о том, что опыт устройства ограждающих конструкций востребован и должен применяться повсеместно в городах. Он помогает уменьшить зону воздействия в процессе нулевого этапа строительства.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*; утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. N 970/пр и введен в действие с 17 июня 2017 г.

2. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика. М., Стройиздат, 1985 г.
3. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменением N 1); утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. N 891/пр и введен в действие с 4 июня 2017 г.
4. Симагин, В.Г., 2010. Проектирование и устройство фундаментов вблизи существующих сооружений в условиях плотной застройки. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов.
5. Пилягин, А.В., 2011. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов.
6. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* (с Изменениями N 1, 2, 3).
7. СП 82.13330.2016 Благоустройство территорий. Актуализированная редакция СНиП III-10-75 (с Изменениями N 1, 2).
8. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика. М., Стройиздат, 1985 г.
9. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
10. СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\* (с Поправкой, с Изменением N1)»
11. СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003»
12. «Проектирование конструкций глубоких котлованов»: учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство» / М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т, кафедра механики грунтов и геотехники; сост. В.В. Сидоров. Москва: МГСУ, 2019.

# СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НАГРУЖЕНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРЕДЕЛЬНО ДЛИТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА СРЕЗУ ПО ПОВЕРХНОСТИ СМЕРЗАНИЯ

**Алексеева А.А.**

*студент 4 курса 4 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Алексеев А.Г.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры МГИГ НИУ МГСУ*

## Аннотация

Представлены результаты исследований сопротивление срезу по поверхности смерзания суглинка и металлического фундамента в лабораторных условиях на двух приборах. Приборы позволяют выполнить одноплоскостной сдвиг (прибор конструкции Садовского) и двухплоскостной (прибор конструкции Ермакова). Экспериментально установлены зависимости сопротивления срезу от температуры и нормальной нагрузки. Величина сопротивления срезу при нормальной нагрузке, соответствующей весу грунта на глубине 5-8 м сопоставимо для одноплоскостного и двухплоскостного среза. Для глубин превышающих 8 м допускается применять только прибор одноплоскостного среза с возможностью задания нормальной нагрузки.

**Ключевые слова.** Мерзлые грунты, прибор Ермакова, прибор Садовского, сопротивление срезу, одноплоскостной срез, двухплоскостной срез.

## ВВЕДЕНИЕ

При строительстве зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах несущая способность основания  $F_u$ , кН, вертикально нагруженной висячей сваи определяется по формуле (СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах) [1-2]:

$$F_u = \gamma_t \cdot \gamma_c \cdot \left( R \cdot A + \sum_{i=1}^n R_{af,i} \cdot A_{af,i} \right) \quad (1)$$

где:

$\gamma_t$  - температурный коэффициент, учитывающий изменения температуры грунтов основания из-за случайных изменений температуры наружного воздуха

$\gamma_c$  - коэффициент условий работы основания

$R$  - расчетное сопротивление мерзлого грунта под нижним концом сваи, кПа

$A$  - площадь опирания сваи на грунт, м<sup>2</sup>

$R_{af,i}$  - расчетное сопротивление мерзлого грунта или грунтового раствора сдвигу по боковой поверхности смерзания сваи в пределах  $i$ -го слоя грунта, кПа

$A_{af,i}$  - площадь поверхности смерзания  $i$ -го слоя грунта с боковой поверхностью сваи,  $m^2$ ;

$n$  - число выделенных при расчете слоев многолетнемерзлого грунта.

Основной параметр, входящий в формулу (1)  $R_{af,i}$  в основном, определяется в лабораторных условиях. Учитывая, что несущая способность сваи на 80-90% определяется сопротивлением по боковой поверхности определение корректной величины  $R_{af,i}$  является важной научной практической задачей [3].

Целью исследования является определение области применения срезных приборов с одной и двумя плоскостями сдвига для суглинки при различных значениях нормальной нагрузки. В задачи исследования входила проведение лабораторных экспериментов по определению сопротивления сдвигу при различных значениях отрицательной температуры.

## МЕТОДЫ

Наиболее эффективным методом получения значения сопротивления срезу по контакту мерзлого грунта и цементно-песчаной смеси со сваей является метод одноплоскостного среза с возможностью задания нормального давления, который представлен в ГОСТ 12248.8-2020 «Грунты. Определение характеристик прочности мерзлых грунтов методом среза по поверхности смерзания» [5]. Основными узлами прибора являются срезыватель, состоящий из верхней и нижней обойм, и устройство для передачи на образец нормальной и сдвиговой нагрузки. Наиболее широкое применение получил прибор ПРС конструкции Садовского А.В. (рис.1) НИИОСП им. Н.М. Герсеванова.

Сдвиговой (срезной) прибор ПРС состоит из основания (рис. 2), сдвиговой камеры и подвижной каретки, перемещающейся вдоль направляющей обоймы на стальных шариках. Приспособление для передачи нормального давления укреплено четырьмя стойками на сдвиговой камере и состоит из боковой упорной плиты, винта и динамометра. Цилиндрический образец грунта (1), смороженный с материалом фундамента (2), помещается в углубление сдвиговой камеры, во врез в подвижной каретке (4), который имеет цилиндрическую форму. Вместо материала фундамента может выступать сам грунт. Тогда образец грунта готовится заранее большей высоты. Нормальная нагрузка ( $F$ ) на образец передается винтом через динамометр (8) и боковой штамп (6). Сдвиговая нагрузка ( $Q$ ) прикладывается к образцу с помощью рычажного пресса через верхнюю часть подвижной

каретки. Весь прибор закрепляется на опорной плите (7). Измеряется деформация среза образца.

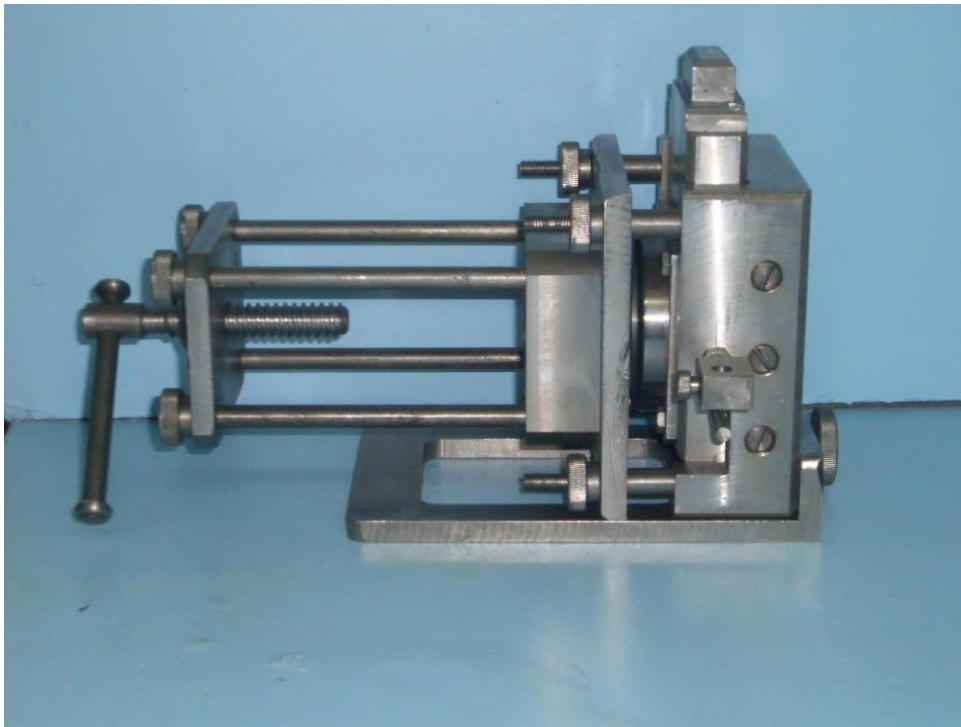


Рисунок 1 - Срезной прибор конструкции А. В. Садовского

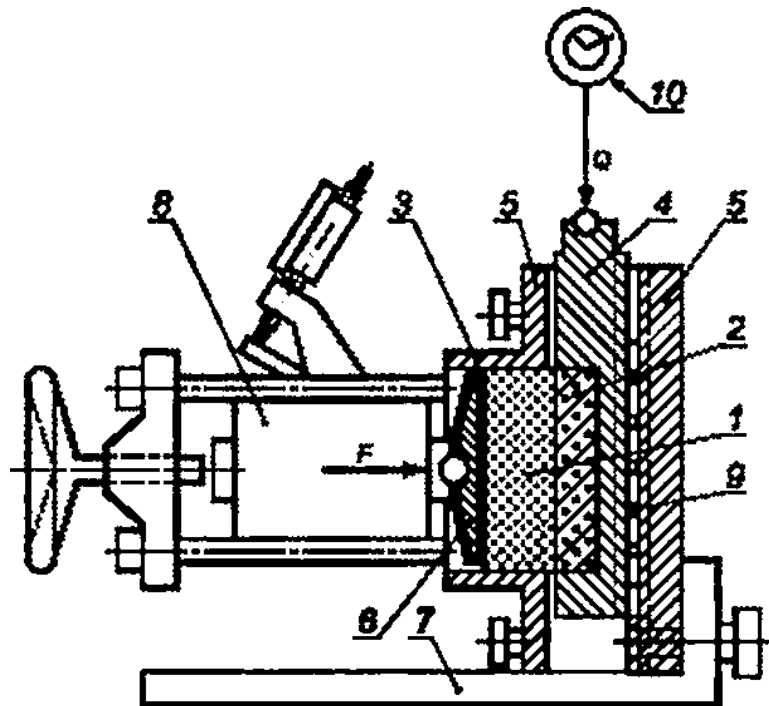


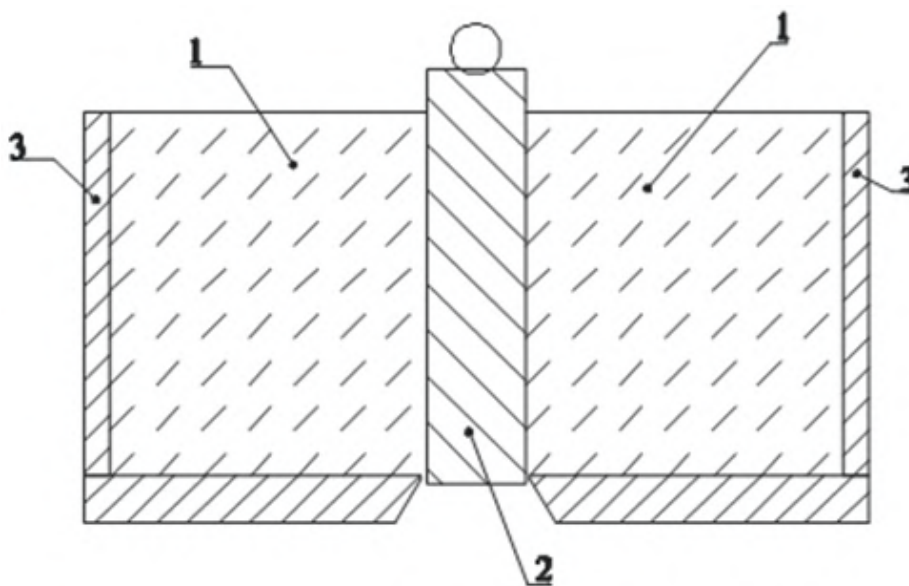
Рисунок 2 - Схема срезного прибора конструкции А. В. Садовского

Для определения сопротивления сдвигу по поверхности смержания так же применяется двухплоскостной срез в приборах конструкции Ермакова (рис. 3). Применение данной конструкции было предложено и апробировано еще в 70-е годы. Прибор не позволяет

задавать нормальное давление к плоскости сдвига с помощью специального устройства, оно формируется за счет обжатия свайки (2) промерзающим грунтом (1) (рис. 4). По оценкам Аксенова В.И., нормальное давление, возникающее в таком случае, не превышает 0,05-0,1 МПа, что соответствует тому давлению, которое может возникать в грунтах деятельного слоя. [4-5]



**Рисунок 3** - Прибор конструкции Ермакова



**Рисунок 4** - Схема прибора конструкции Ермакова

Нормальной нагрузкой задавалась в диапазоне от 0,05 до 2,5 МПа. Температура испытания составила -1 и -2 °С. Основные усредненные показатели физических свойств испытуемых образцов приведены в таблице [6-7].

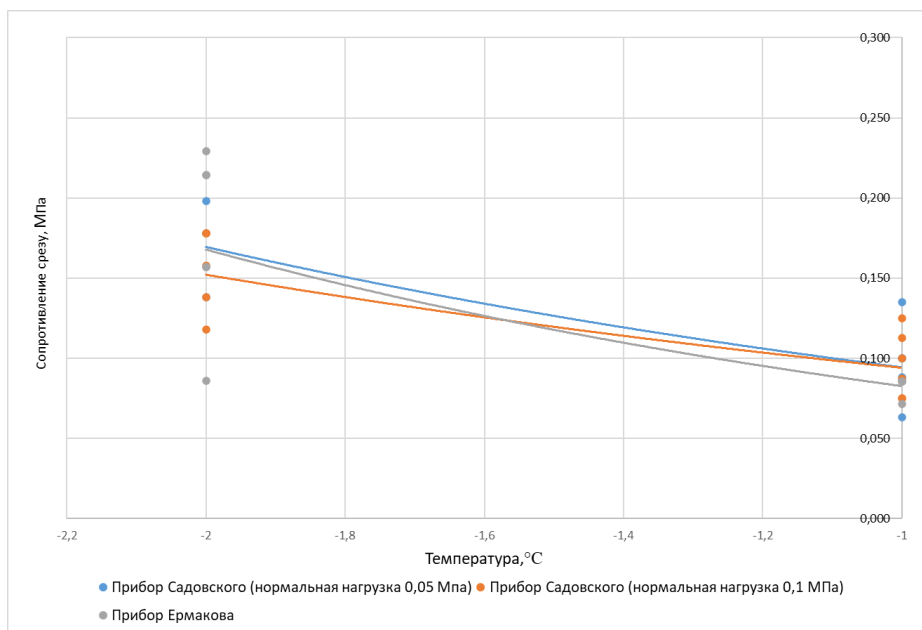
**Таблица 1.** Свойства исследованного грунта

<b>Одноплоскостной срез</b>				
№ прибор	Название грунта	W <sub>заданная</sub> , %	W <sub>после опыта</sub> , %	ρ, г/см <sup>3</sup>
1	Суглинок	23	23,21	1,99
2		23	22,60	1,99
3		23	23,62	2,00
4		23	22,95	1,99
5		23	22,59	2,03
6		23	23,06	2,02
7		23	21,93	1,99
8		23	23,81	2,00
9		23	22,6	2,01
10		23	22,49	2,02
11		23	22,62	2,00
12		23	23,28	1,98
<b>Двухплоскостной срез</b>				
№ прибор	Название грунта	W <sub>заданная</sub> , %	W <sub>после опыта</sub> , %	ρ, г/см <sup>3</sup>
35	Суглинок	23	22,9	2,01
39		23	23,7	2,01
45		23	22,8	1,98
50		23	22,2	1,97
38		23	23,5	1,98
41		23	22,8	2,03

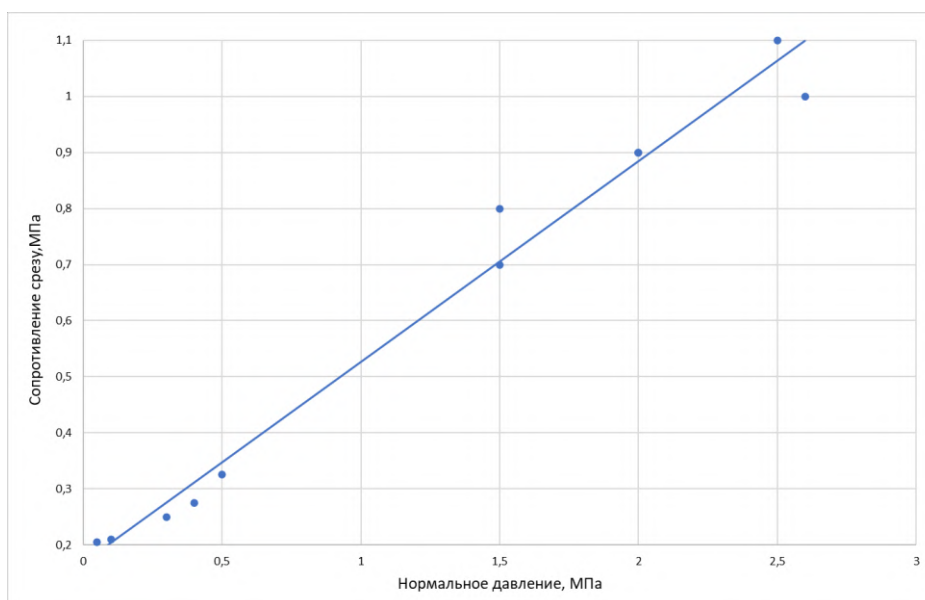
## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

По результату проведенных испытаний мы видим, что при нормальных нагрузках до 0,1 Мпа, значения сопротивления срезу практически идентичны (рис.1). С увеличением нормальной нагрузки значения расчетного сопротивления возрастает (рис.2), учитывая невозможность задания нормальной нагрузки прибором Ермакова при нормальной нагрузке более 0,1 МПа актуальным является только значения сопротивления сдвигу, полученные прибором Садовского.





**Рисунок 1** - Зависимость сопротивления срезам от температуры



**Рисунок 2** - Зависимость сопротивления срезам от нормального давления

## ВЫВОДЫ

Проведенные лабораторные эксперименты по определению сопротивлению срезам суглинка по металлической поверхности показали, что понижение температуры грунта от  $-1$  до  $-2$  °C приводит к росту сопротивления срезам, как для одноплоскостного (от 0,09 до 0,153 МПа), так и для двухплоскостного (от 0,07 до 0,153 МПа). С ростом нормального давления величина сопротивлению срезам возрастает от 0,2 до 1,1 МПа.

Проанализировав полученные результаты, мы видим, что до глубины 5-8 м при определении расчетного сопротивления срезам по поверхности смерзания грунта с фундаментом допускается применять приборы как Садовского, так и Ермакова, ввиду

идентичных значений. Но для глубин более 5-8 м допускается применять только прибор Садовского.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 25.13330.2020. СНиП 2.02.04-88 актуализированная редакция. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М.: Стандартинформ, 2020.
2. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах. Под ред. Велли Ю.Я. и др. Л., Стройиздат, 1977, 552с.
3. Н.А. Цытович. Механика мерзлых грунтов. М., Стройиздат, 1972,
4. Аксенов В.И., Кистанов О.Г. Оценка составляющих сопротивления осевой нагрузке свай, погруженных в мерзлый грунт // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2008. №2. С. 28-31
5. Алексеев А.Г., Гречищева Э.С., Иоспа А.В. Влияние антикоррозионного покрытия на величину касательных сил морозного пучения грунтов. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2020;26(3):13-22.
6. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация.
7. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

# ОСОБЕННОСТИ НОРМИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

**Кудинова Я.А.**

*студентка 3 курса 1 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Рабинович М. В.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры МГИГ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Вечномерзлые грунты являются очень прочными основаниями для сооружения, но они относятся к структурно-неустойчивым грунтам, так как любое техногенное или природное воздействие на них может привести к их деградации, то есть повышению температуры многолетнемерзлых грунтов (ММГ). Неправильная эксплуатация зданий и сооружений, коммуникаций проявляется в заболачивании, засолении ММГ, а это, в свою очередь, приводит к оттаиванию таких грунтов и уменьшению несущей способности основания, неравномерным осадкам в сооружениях.

Данное исследование заключается в реализации разделения на обязательные и рекомендуемые нормы и правила для технической эксплуатации зданий и сооружений, возведенных на вечномерзлых грунтах.

Для достижения поставленной цели необходимо было выяснить правила эксплуатации зданий и сооружений, возведенных на ММГ по каждому из двух принципов использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований.

**Ключевые слова:** многолетнемерзлые грунты, эксплуатация зданий, структурно-неустойчивые грунты, деградация многолетнемерзлых грунтов, сохранение вечномерзлых грунтов.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Исследования [2] показали, что число деформированных зданий и сооружений превышает 40% в криолитозоне. В свою очередь из-за деформации грунта несущая способность фундаментов и свай к 2025 году может стать на 50% и более ниже, чем 50 лет назад. Главная причина такой ситуации – повышение температуры многолетнемерзлых грунтов как следствие их деградация.

Для возведения сооружений на многолетнемерзлых грунтах используются два принципа [1]. Принцип I предполагает использования грунта в мерзлом состоянии, которое

сохраняется и в процессе строительства, и в течение всего срока эксплуатации сооружения. Принцип II использует оттаявшее состояние грунтов. Каждый принцип использования многолетнемерзлых грунтов должен соблюдаться не только в процессе строительства здания или сооружения, но и в процессе эксплуатации. Несмотря на важность этого факта, все существующие СП не включают в себя этих норм и ранее не было отдельного свода правил по этой теме [3,4]. Хотя в СП 25.13330<sup>1</sup> были включены контролируемые параметры при геотехническом мониторинге сооружений на многолетнемерзлых грунтах, этим нельзя было ограничиться. В 2021 году впервые появился такой нормативный документ – СП 497.1325800.2020<sup>2</sup>.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Для контроля за состоянием многолетнемерзлых грунтов должен проводиться их геотехнический мониторинг в период эксплуатации. Это подразумевает под собой комплекс работ, который базируется на натуральных наблюдениях за температурным и гидрогеологическим режимом грунтов основания, состоянием и осадками фундаментов, температурой воздуха в проветриваемом подполье, работой системы искусственной, исправностью охлаждающих устройств. Так, по I принципу - на протяжении всего срока эксплуатации необходимо проводить наблюдения, по II – от пяти до десяти лет.

Необходимо проводить сезонные осмотры два раза в год. Весенние осмотры нужны для выявления появившихся за зимний период деформаций фундаментов и охлаждающих устройств. Осенние проводятся для контроля готовности сооружения к эксплуатации в зимний период. Также необходимо проводить срочный осмотр после стихийных бедствий, таких как сильные снегопады, ливни, наводнения, ураганы. При необходимости проведения капитального ремонта сооружений или его реконструкции запрещается изменение принципа использования многолетнемерзлых грунтов в роли оснований сооружения.

Должна выполняться регулярная уборка и вывоз снега с территории застройки в связи с тем, что снеговой покров будет способствовать оттаиванию основания. Также исключается применение химических антигололедных средств на придомовых земельных участках в количестве, способном привести к засолению многолетнемерзлых грунтов.

---

<sup>1</sup> СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.

<sup>2</sup> СП 497.1325800.2020 «Основания и фундаменты на многолетнемерзлых грунтах. Правила эксплуатации».



**Рисунок 1** - Накопление снега у основания сооружения

Среди требований предъявляемым к эксплуатации проветриваемого подполья выделяют следующие. Во-первых, оно не должно использоваться в хозяйственных целях, то есть запрещается устройство складских, подсобных и других помещений. Это связано с тем, что нарушается обветривание подполья и происходит повышение температуры грунта. Во-вторых, для свободного вентилирования подполья (постоянная циркуляция наружного воздуха), на расстояние не менее 2 метров от здания не должно находиться снега, не допускается закрывать вентиляционные отверстия в период отрицательных среднесуточных температур наружного воздуха.

Должен быть обеспечен доступ конструктивных элементов и термостабилизирующих устройств для осмотра, выполнения ремонта, если были выявлены неисправности и для регулировки и наладки оборудования. Также обязательно должна быть доступность к термометрическим и гидрогеологическим скважинам. Если в течение наблюдения обнаруживаются деформации сооружения, биологическое поражение конструкций, то должны быть приняты меры по устранению их. Например, при выявлении намокания фундаментных конструкций и роста грибков или плесени на них рекомендуется усилить вентилирование проветриваемого подполья в летний период.

Необходимо контролировать наличие (отсутствие) трещин и сколов в фундаментах, перекрытиях, покрытиях, утечки воды из инженерных сетей, видимые разрушения бетона фундаментов, состояния теплоизоляции трубопроводов.

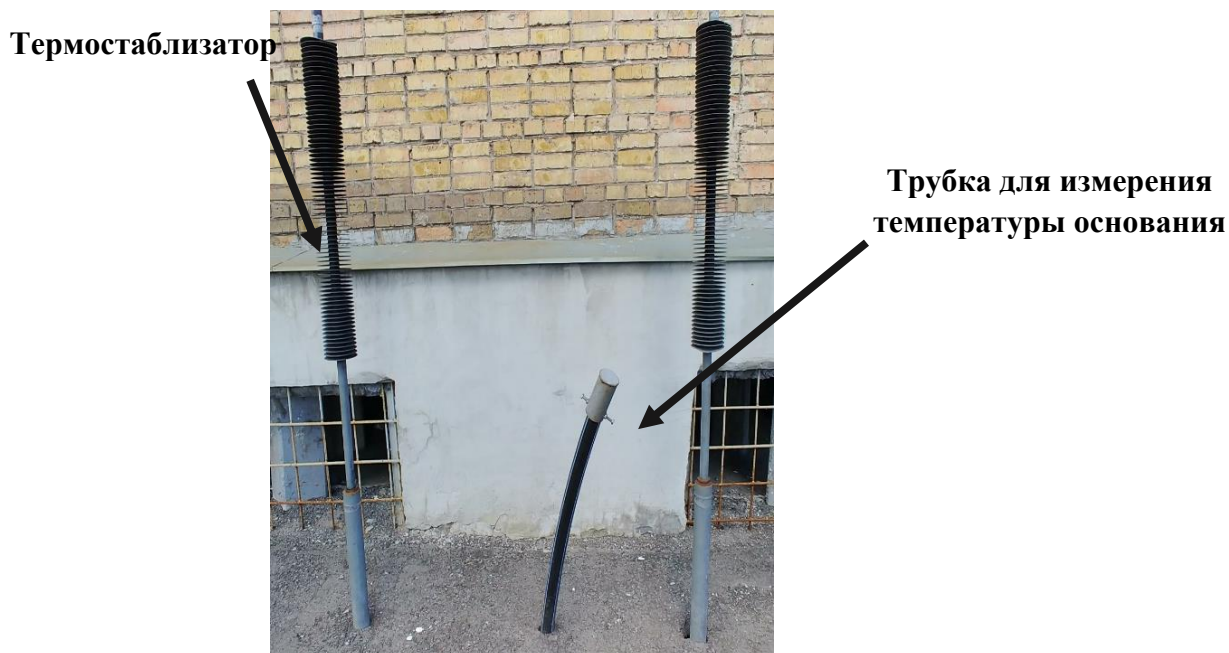
Работоспособность термостабилизатора проверяют с помощью метода тепловизионного контроля, что подразумевает дистанционные измерения тепловизором полей температур поверхности конденсаторной части термостабилизаторов (ГОСТ 26629<sup>3</sup>).

---

<sup>3</sup> ГОСТ 26629-85 Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.



**Рисунок 2** -Свободное вентилирование проветриваемого подполья, г. Норильск, 2021г.



**Рисунок 3** - Термостабилизатор и трубка для измерения температуры основания сооружения.

Эксплуатация сооружений, возведенных по принципу Пс допущением оттаивания вечномёрзлых грунтов основания во время эксплуатации, должна подчиняться требованиям СП 255.1325800<sup>4</sup>. На основании регулярных замеров температур грунтов основания и контрольных бурений контролируется глубина оттаивания грунта в основании сооружения.

При эксплуатации зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах необходимо также осуществлять контроль за возможными негативными проявлениями мерзлотных

<sup>4</sup> СП 255.1325800.2016 Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения.

процессов на застроенной территории, например, термокарст, солифлюкация, термоэрозия, пучение грунтов и т.п.

До наступления снеготаяния весной следует очистить от снега, льда, наносов и мусора все водостоки и водоотводы для свободного пропуска талых вод. Скопление талых вод вокруг сооружений и под ними может привести к деградации многолетнемерзлого грунта, что приведет к деформациям и потере несущей способности основания. Так, в 2021 году в Якутске появилась трещина в жилом доме из-за постоянного обводнения поверхности грунта водой.

Необходимо контролировать наличие (отсутствие) трещин и сколов в фундаментах, перекрытиях, покрытиях, утечки воды из инженерных сетей, видимых разрушений бетона фундаментов (рис.5, 6), состояния теплоизоляции трубопроводов.



**Рисунок 4** - Появление трещины в доме из-за накопления воды под зданием сооружения, г. Якутск, июнь, 2020 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обобщая сказанное, можно сделать несколько выводов. Во-первых, эксплуатация сооружений на многолетнемерзлых грунтах обеспечивается соблюдением требований СП 25.13330<sup>5</sup>, специальных условий СП 497.1325800<sup>6</sup> и универсальных эксплуатационных правил по СП 255.1325800<sup>7</sup>. Во-вторых, мы предлагаем разделить требования эксплуатации зданий и сооружений на рекомендуемые и обязательные, чтобы исключить большие трудозатраты. Так, к необходимым следует отнести:

1. Геотехнический мониторинг многолетнемерзлых или оттаявших грунтов;

<sup>5</sup> СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечноммерзлых грунтах.

<sup>6</sup> СП 497.1325800.2020 «Основания и фундаменты на многолетнемерзлых грунтах. Правила эксплуатации».

<sup>7</sup> СП 255.1325800.2016 Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения.

2. Обязательное свободное проветриваемое подполье и открытые вентиляционные отверстия;

3. Устранение всех деформаций, биологических поражений конструкций зданий, построенных на вечномёрзлых грунтах.

К рекомендуемым следует причислить только те требования, частота выполнения которых может быть сокращена до минимума:

1. Контроль за возможными негативными проявлениями мерзлотно-геологических процессов на застроенной территории, таких как термокарст, солифлюкции, термоэрозии, пучения грунтов и т.п.

2. Уборка и вывоз снега с территории застройки рекомендуема, так как это не всегда целесообразно из-за сильных осадков на территории распространения многолетнемерзлых грунтов. Однако остается обязательным очищение двух метров от края сооружения.

## **ВЫВОДЫ**

В заключение можно сказать, что в зависимости от сложности мерзлотно-грунтовых условий может быть выбран тот набор геомониторинга, который оптимально обеспечит надежную и долговечную работу сооружений.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В., Тер-Мартirosян З.Г., Чернышев С.Н., Механика грунтов, основания и фундаменты: Учеб. Пособие М55 для строит. спец. вузов/С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский и др., Под ред. С.Б. Ухова. – 5-е изд., стер. – М.: Высш. Шк., 2010. – 566 с.: ил.

2. Чунюк Д.Ю., Рабинович М.В. Проблемы безаварийной эксплуатации зданий и сооружений в условиях изменения температурного режима многолетнемерзлых грунтов северных территорий Российской Федерации. Наука и технологии обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях. Материалы мероприятий деловой части программы, организатором которых выступил ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). Ч. I / МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГО ЧС (ФЦ), 2021. 328 с.

3. СНиП II-Б.6-66 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномёрзлых грунтах. Нормы проектирования».

4. СНиП II-18-76 «Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах».



# СПОСОБЫ МИНИМИЗАЦИИ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ МЦК, МЕТРОПОЛИТЕНА И ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТИРУЕМОГО ЗДАНИЯ

**Муравьева Е.А.**

*студентка 6 курса 11 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Манько А.В.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры МГиГ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Предметом исследования является напряженно-деформированное состояние системы «сооружение – массив – сооружение». Целью исследования являются способы минимизации взаимного влияния метрополитена, железной дороги и подземной части проектируемого здания. Актуальность данного исследования состоит в том, что будут учтены взаимные влияния существующих объектов и вновь возводимой подземной части, будут определены способы минимизации геомеханического воздействия друг на друга.

**Ключевые слова:** подземное сооружение, взаимное влияние, напряженно-деформированное состояние, метрополитен, железная дорога, МЦК.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В последнее время все более интенсивно развивается строительство на незастроенных территориях. Справедливости ради стоит отметить, что таких территорий становится все меньше. Но они еще присутствуют в крупных городах: это так называемые неудобья, полосы отвода под ЛЭП, защитные зоны транспортных коммуникаций, зоны отчуждений, водоохранные зоны, зоны редевелопмента бывших индустриальных зон. Строительство на данных территориях сопряжено с некоторыми сложностями. Определенное их количество назвать сложно потому, что эта цифра будет индивидуальна для каждого случая в отдельности.

Например на бывших индустриальных территориях эти сложности заключаются в присутствии на стройплощадке промышленных зданий или их оставшиеся части, фундаменты, экологические загрязнения окружающей природной и техногенной среды. С положительной стороны такие территории характеризуются наличием коммуникаций, развитой транспортной инфраструктурой, близостью расположения к центру города. И все из-за того, что промышленные объекты в прошлом возводили вблизи жилых зон и по мере

укрупнения городов из окраин превратились в хорошо обжитые районы близко расположенные к историческому центру.

Зоны отчуждений, равно как и зоны транспортных коммуникаций характеризуются хорошей транспортной доступностью, чаще всего такие зоны имеют экологичную среду. С отрицательной стороны в таких зонах как правило отсутствуют коммуникации и эти зоны окружены плотной, сложившейся городской застройкой. Как раз в двух таких зонах и предполагается строительство второй очереди многофункционального комплекса в составе ТПУ Ботанический Сад [1,2].

Проблема строительства состоит в том, что сама зона, зарезервированную под рекреацию и развитие транспортных коммуникаций имеет вытянутую форму с севера на юг и вплотную прилегает к зоне метрополитена и Московского Центрального Кольца (МЦК). При этом в ширину эта зона имеет от 10 до 100 метров, что накладывает специфические требования к проектированию многофункционального комплекса - необходимо учесть сложность эксплуатации метрополитена и железной дороги при проектировании в их зоне влияния нового комплекса в составе ТПУ «Ботанический Сад». Сложность заключается не только в изменении сложившихся напряженно-деформированного состояния системы «массив-сооружение», но и в возможных вибрационных воздействиях на фундамент проектируемого комплекса.

## **ОБЗОР МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ**

В настоящем исследовании для определения напряженно-деформированного состояния конструкций был применён Метод Конечных Элементов (МКЭ). Использование МКЭ в численных исследованиях позволяет моделировать сложные процессы взаимодействия сооружений с грунтовыми массивами. Инструментом для реализации возможностей МКЭ в данном случае был выбран программно-вычислительный комплекс (ПВК) «Z\_Soil v20», реализуемой Швейцарской компанией Zase Service [3].

Расчетная схема (сетка) МКЭ строится с учетом возможностей используемой программы расчета и должна отражать: область горного массива, вмещающего сооружения, по размерам обеспечивающую выполнение расчетных граничных условий с представлением макроструктуры массива; геометрию исследуемого сооружения, включая контуры выработок, несущие бетонные и железобетонные конструкции, временную крепь, возможные этапы разработки сечения выработки и возведения элементов конструкций.

Упругая модель при схематизации грунтового массива и материалов конструкций применяется наиболее часто. В данном исследовании упругой моделью моделировался

железобетон. В рамках упругой модели принято рассматривать квазиоднородную, квазисплошную, разномодульную (билинейную) среду, характеризующуюся разными величинами модулей упругости при сжатии и растяжении. Часто в расчетах используется частный случай этой модели, имеющий нулевое значение модуля упругости при растяжении (среда, не воспринимающая растягивающих напряжений).

В случае, если за пределом упругости предполагается описание процесса деформирования в рамках теории пластичности, уравнение называется критерием пластичности или критерием пластического течения; в предположении хрупкого разрушения – критерием разрушения или критерием прочности. Графически уравнение может быть представлено поверхностью в пространстве главных напряжений, при этом если напряженное состояние соответствует точке внутри этой поверхности, то считается, что материал деформируется упруго. Для конкретных материалов может одновременно существовать несколько таких поверхностей, что характеризует особенности деформирования по различным направлениям (деформационная или прочностная анизотропия) или при перемене знаков компонент напряжений. В данном исследовании использовался критерий разрушения Кулона – Мора, которым моделировалась геологическая среда [4].

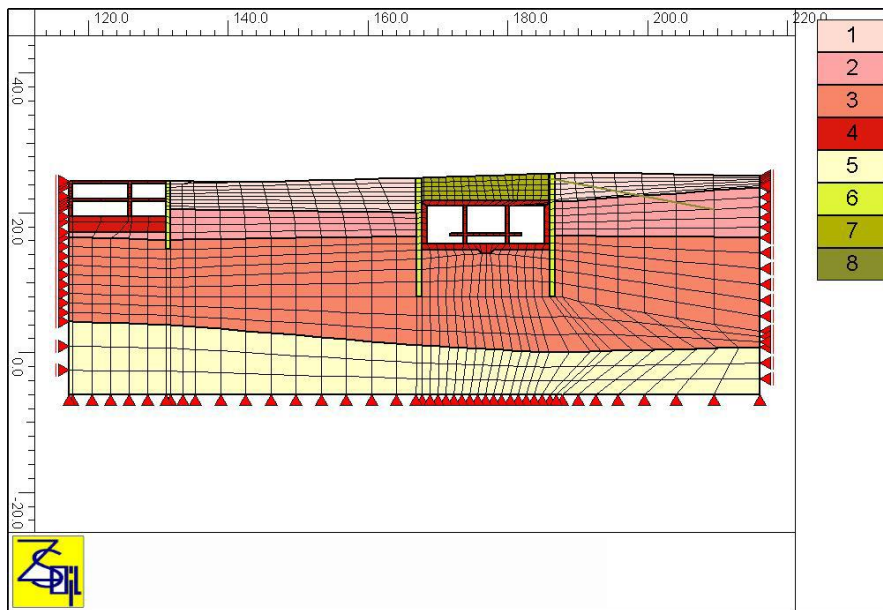
## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Для исследования минимизации взаимного геомеханического воздействия проектируемого подземного комплекса были взяты два сечения, каждый проходящий через подземный комплекс: одно сечение через станцию метрополитена, второе сечение через линию Московского Центрального Кольца (МЦК).

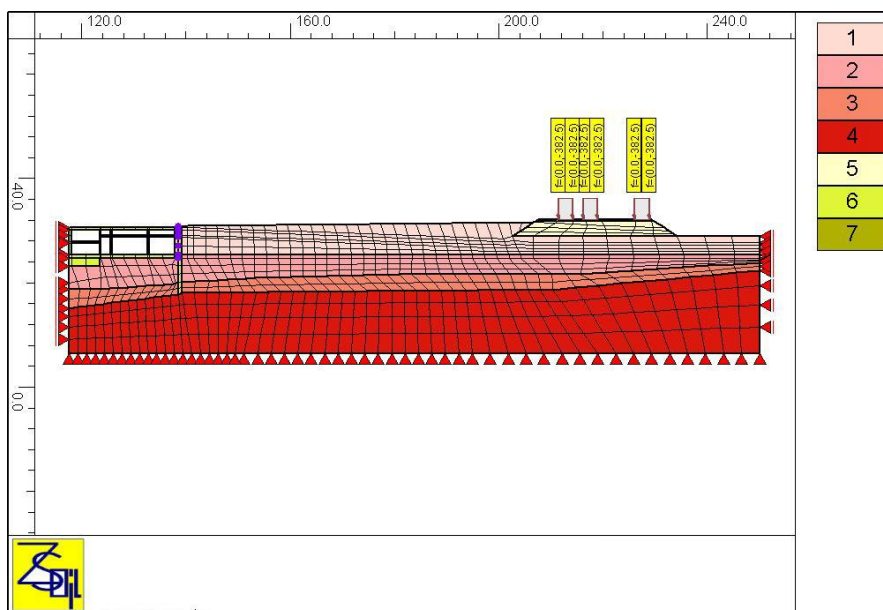
На рис.1 приведены расчетные схемы эксперимента по сечению через станцию метро и через МЦК. Подземный комплекс весь не моделировался, а моделировалась только плоскость симметрии.

Первоначально необходимо запроектировать напряжённо - деформированное состояние метрополитена. Глубина заложения станции составляет 9м (от оголовка рельсы до срединного уровня поверхности). Приложения. Станция возводилась открытым способом (открыта в 1978 году), в котловане. Следовательно, необходимы стены в грунте для вертикального крепления стен котлована. Устойчивость одной (восточной) стены обеспечена не была и поэтому для её крепления был использован грунтовый анкер. Самая большая деформация, после стабилизации подпорной стены, будет в обратной засыпке потому, что

стабилизация по времени не проектировалась и составила максимум 7,5 – 8,8 мм. Максимальная деформация в конструкциях станции составила 4,97мм.



(а)



(б)

**Рисунок 1** - Расчетная схема: (а) через станцию метрополитена, (б) через линию МЦК

В следующем расчете полностью аннулированы результаты метро для того, чтобы определить максимальную деформацию грунта и конструкции подземного комплекса. Максимальная деформация в грунте получилась 3,7 см под фундаментной плитой. Максимальная деформация ограждающей стены в грунте составила 0,6см. Анализ результатов дает полное основание утверждать, что при предложенной схеме возведения сооружения данный объект можно строить.

Но если не аннулировать результаты метрополитена, то воздействие нового строительства на станцию метрополитена очень большое, что может привести к катастрофическим последствиям. В результате строительства комплекса на станцию метрополитена могут быть серьезные воздействия, которые дадут дополнительную деформацию в 5,3 см, что приведет к аварийным последствиям. По действующим нормам максимальная дополнительная деформация может составлять не более 7мм. Поэтому необходимы защитные мероприятия для минимизации воздействия подземного комплекса на станцию метрополитена [5].

В результате нескольких поверочных расчетов был выбран наиболее предпочтительный вариант устройства защитных стен. Данный вариант представлен на рис.5 Приложения. Эта стена в грунте – стена из буросекующихся свай диаметром 600мм, длиной 15м. Анализируя полученный результат видно, что максимальная деформация стены в грунте составит 10,5см. При этом максимальная деформация станции метро уменьшилась на 1см и составит 4,2 см, что все равно много. По этому для того, чтобы минимизировать воздействие строящегося объекта на станцию метро необходимо произвести укрепление грунта вокруг на глубину от 8 до 12 м. В данном случае предлагается в качестве закрепления грунта использовать инъецирование цементно-песчаным раствором. Также необходимо установить защитную стену в грунте из буросекующихся свай диаметром 800мм, длиной 36м. Только при таких технических решениях дополнительная деформация станции метро составит 4,87мм. Деформация основания под подземным комплексом составит 3,95 см (Рис.2).

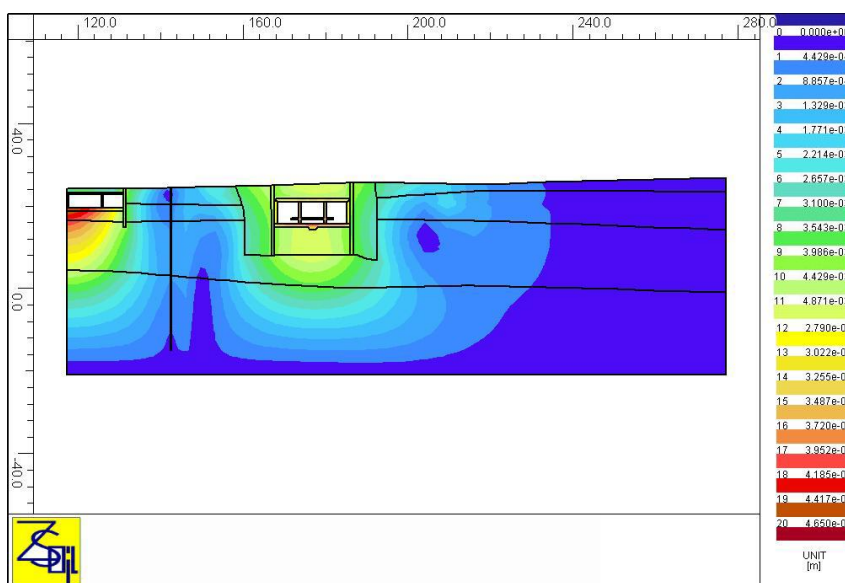


Рисунок 2 - Результаты минимизации взаимного влияния метро и подземного сооружения

Железная дорога (МЦК) проектировалась условно и потому на железобетонные шпалы приложена нагрузка от движущегося, затормозившего или остановившегося поезда. В соответствии с рекомендациями по проектированию верхнего строения пути самая большая нагрузка будет у поезда, который затормозил. Такая нагрузка будет на 10% больше, чем нагрузка от стоящего поезда. Поезд в движении будет составлять нагрузку 50% от нагрузки стоящего поезда [6].

Так как реконструкция МЦК состоялась несколько лет назад [7] и релаксации напряженно-деформированного состояния массива еще не произошла, то сразу моделируется подземный комплекс и железнодорожное полотно. Максимальная деформация железнодорожного полотна составит 27,5мм. Максимальная деформация основания подземного комплекса составит 5,22 см, что соответствует нормативной деформации 8 см для песчаного основания.

Максимальная деформация железнодорожной насыпи от морозного пучения должна составлять не более 20мм. Уширение колеи должно составить не более 8мм и сужение не более 4 мм - при скорости движения более 25 км/ч. Максимальная просадка у станционных путей должна составить не более 18мм. Предельно допустимая разница уклона рельс у станции должна составлять не более 3,2мм. В данном случае нас интересует только просадка железнодорожного полотна МЦК и полученные результаты деформации превышают допустимые параметры, следовательно, необходимо устройство защиты от взаимного влияния подземного сооружения и линии МЦК.

Путем перебора была подобрана защитная стена в грунте из труб 530x12, установленные с шагом 800мм и заполненные местным грунтом. Максимальная просадка железнодорожного полотна составила 19,2 мм, что превышает допустимые показатели.

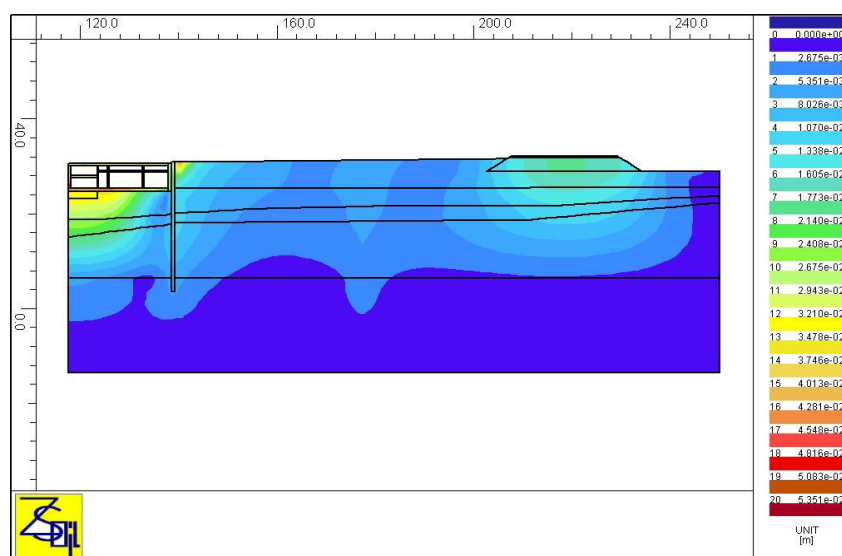


Рисунок 3 - Результаты минимизации взаимного влияния МЦК и подземного сооружения

Самым лучшим результатом, показанный на рис.3, дала стена из буросекущихся свай диаметром 800мм, длиной 30,6м, установленные в качестве ограждающих стен котлована подземного комплекса.

## **ВЫВОДЫ**

1. Строительство подземного комплекса изменит существующее напряженно-деформированное состояние на большой площади.
2. В зону влияния от строительства подземного комплекса попадают станция метро и железной дороги МЦК.
3. Для численного эксперимента будет применен математический аппарат метода конечных элементов.
4. Эксперимент будет направлен на определение негативных взаимосвязей существующих наземных и подземных сооружений.
5. Необходимо построить действующую систему «массив – сооружение» для минимизации рисков аварий на действующих транспортных объектах.
6. Для данного эксперимента будет использована модель среды Кулона – Мора, а для моделирования анизотропной однородной среды – модель Гука или её еще называют эластичная модель.
7. Без устройства защит станции метрополитена и железнодорожных платформ МЦК построить подземный многофункциональный комплекс не представляется возможным.
8. В качестве защиты метрополитена от воздействий на НДС массива от проектируемого подземного комплекса следует принять стену из буросекущихся свай диаметром 800мм длиной 36м на расстоянии 8 м от возводимого комплекса со стороны станции метрополитена.
9. Также в качестве защиты от воздействия следует провести цементацию на глубину 6-8 м от конструкций станции.
10. В качестве защиты от взаимного влияния возводимого комплекса и линии железной дороги (МЦК) следует принять ограждающую стену котлована комплекса со стороны МЦК из буросекущихся свай диаметром 800мм и длиной 30,6м.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Голосова Е. В., Котова А. В., Журов В. Д. Лаборатория ландшафтной архитектуры ГБС РАН: история, задачи, перспективы // История науки и техники. 2010. № 5. С. 87-93.

2. Благовидова Н. Г., Кузин П. А. Принципы архитектурно-планировочных решений пересадок между станциями МЦК и другими видами транспорта // Архитектура и современные информационные технологии. 2019. № 1(46). С. 290-317.
3. Зерцалов М.Г., Конюхов Д.С., Устинов Д.В., Симутин А.Н., Хохлов И.Н. Оценка взаимного влияния строительства тоннелей метрополитена и возводимого над ними многоэтажного комплекса // Транспортное строительство. 2014. №11. С.4-6
4. Зерцалов М.Г., Симутин А.Н., Устинов Д.В., Хохлов И.Н. Обеспечение сохранности многоэтажных зданий при сооружении тоннелей // Метро и тоннели. 2014. №3. С.28-29
5. Зерцалов М.Г., Устинов Д.В., Меркин В.Е., Щекудов Е.В. Исследование влияния строительства объектов городской инфраструктуры на сооружения метрополитена на математических моделях // Метро и тоннели. 2009. №2. С.34-35.
6. Памятка руководителям путевого хозяйства по текущему содержанию железнодорожного пути. Нижний Новгород: ОАО «РЖД», центр Диагностика, 2006.
7. Вакуленко С. П., Колин А. В., Роменский Д. Ю. [и др.] Московский транспортный узел: перспективы развития. М : ВИНТИ РА, 2017. 96 с.



# ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

**Муравьева Е.А.**

*студентка 6 курса 11 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Манько А.В.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры МГиГ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Предметом данного исследования является обоснование применения технологий информационного моделирования в области освоения подземного пространства. Целью исследования является определение возможности использования информационных технологий при строительстве подземных сооружений. В качестве основных выводов можно отметить, что современные программы, реализующие информационные технологии, имеют готовые модели для проектирования фундаментом, в том числе свайных, коммуникаций и транспортных тоннелей. Остальные модели еще предстоит сделать.

**Ключевые слова:** Информационные технологии, ТИМ, ВІМ, подземное строительство, освоение подземного пространства.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В 2019 году на законодательном уровне было закреплено понятие Технология Информационного Моделирования, или ТИМ. Начиная с 2022 года все инвестиционные проекты, в которых есть государственный интерес, обязаны делать проект с использованием ТИМ. Но что такое ТИМ? Считается, что ТИМ - это русифицированное название иностранного термина ВІМ, что означает Building Information Modeling. Получается, что это одно и то же?

ВІМ изначально как концепция возникла в 1970-х годах, но название было придумано в 2002 году, когда была сделана первая попытка создать систему автоматизированного проектирования, включающую в себя физические и функциональные характеристики. ВІМ-модель учитывает параметры материалов, геометрию здания, его дизайн и влияние на окружающую среду. Полученные данные можно использовать не только во время строительства, но и в ходе эксплуатации здания.

ТИМ – технология информационного моделирования. Такое понятие было внесено в Градостроительный кодекс Федеральным Законом № 151 в 2019 году. В 2020 году

Постановлением Правительства № 1431 понятие термина было расширено. В настоящий момент под ТИМ понимается совокупность в электронном виде взаимосвязанных сведений, документов, формируемых в начале и существующих на всем протяжении жизненного цикла здания или сооружения.

## **ОБЗОР ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Первые программы, которые можно отнести к прародителям BIM и с помощью которых начинали проектировать здание, имели набор стандартных элементов, таких как двери, окна, колонны и т.д. Из этих элементов собирали здания, а чего не было в библиотеках элементов, то дорисовывали вручную. Самая знаменитая такая программа - это Archicad.

Основоположником информационного моделирования был архитектор Чарльз Истман, выпускник университета в Беркли, который придумал первую программу BDS (Building Description System - «система описания здания») в 1974 году. Эта программа давала возможность к нарисованной линиями картинке добавить физические свойства материала, из которого в реалии был сделан тот или иной конструктивный элемент [1,2].

Следующая ступень развития проекта информационного моделирования была программа GLIDE (Graphical Language for Interactive Design), 1977 год, где прослеживаются основные черты современных платформ для BIM, а именно наличие базы данных. Таким образом, эта программа стала первой, которая позволила нарисовать, например, лестницу, задать ей внешний вид и свойства материала (дерево, сталь, бетон) и отметить в базе данных, что эта колонна оси Б/1 [3,4].

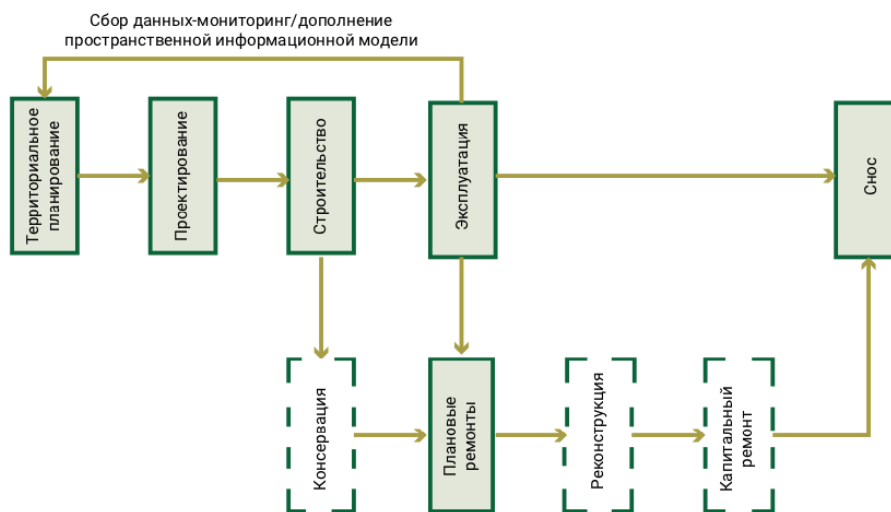
Чуть позже стали появляться множество других программ, реализующим объектное и информационное проектирование. И для увеличения эффективности проектирования была введена функция «фазирования» строительства для проверки и контроля хода строительства. Например, без установки вертикальных несущих элементов программа не давала «монтировать» горизонтальные элементы. Таким образом, система проектирования научилась информировать строителей об ошибке. Одним из значимых объектов того времени, построенный при помощи BIM, был аэропорт Хитроу, Лондон, Великобритания. По сообщениям британских газет того времени именно использование информационного моделирования позволило сократить издержки строительства и сэкономить только на одном проектировании до 50% денежных средств. При реконструкции того же Хитроу в 2009 году также использовали BIM. Одним из последних гигантских проектов, реализованных в 2019 году в BIM, является Новый аэропорт Стамбула. И всё же на данный момент «законодателем

мод» в индустрии информационного моделирования является Великобритания. В Великобритании впервые попытались привязать такие разрозненные системы, как компьютерное черчение (CAD-системы), BIM и нормы (Европейские и Британские) и каждому уровню развития проекта. Всё это называется жизненным циклом проекта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Понятие жизненного цикла впервые появилось в менеджменте, и таким образом оперировали понятием о возможности продвижения какого-либо товара на рынок. Впоследствии жизненный цикл стал отождествляться с объектами строительства. Жизненный цикл строительного объекта - это период времени, в течение которого он существует как объект управления, т.е. период от зарождения инвестиционного замысла до ликвидации, продления жизненного цикла или редевелопмента объекта. Понятие жизненного цикла строительства введено в Федеральном законе № 384-ФЗ от 30.12.2009 года. Этот закон основывается как на российских нормативных документах, так и на стандартах ISO, в частности ISO-9000-1-94 (менеджмент качества) и ISO 15686-8-2008 (планирование долговечности).

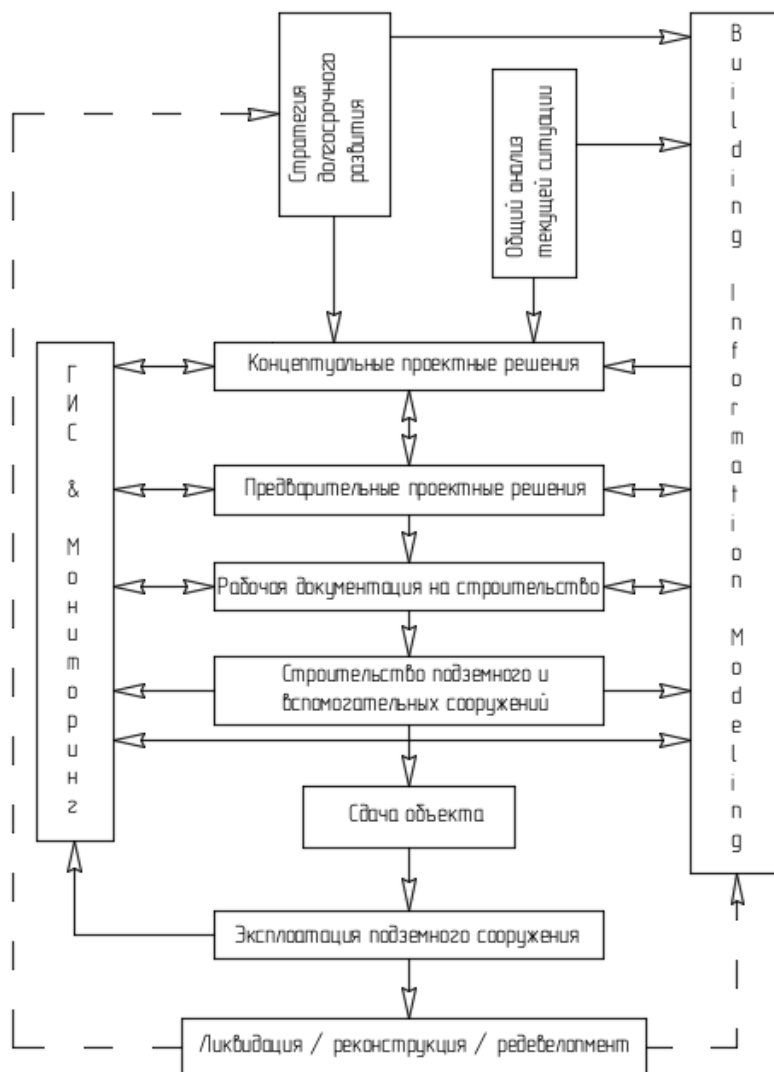
В научных статьях российских авторов [5, 6] стали чаще встречаться различные схемы жизненного цикла. Специалистами АО ЦНИИС разработана примерная схема жизненного цикла метрополитенов в составе BIM, представленная на рис.1.



**Рисунок 1 -** Схема жизненного цикла подземного сооружения по ЦНИИС

На рис.2 показана еще одна концепция, проект жизненного цикла подземного сооружения, совмещенный с информационными технологиями, такими как BIM и геоинформационные системы (ГИС). Сплошной линией показаны обязательные работы, а

пунктиром – зависимости, которые могут иметь место. Например, в случае ликвидации объекта эта информация может быть передана в BIM. Все зависит от множества факторов. Например, остается ли участок земли у одного хозяина. Если участок будет продан, передан новому владельцу и на его месте будет возведен новый объект, то, возможно, новый девелопер захочет начать свой проект жизненного цикла, не привязываясь к тому, что было на участке. Также показана еще одна попытка использования информационных технологий - схема увязки мониторинга и проекта в BIM. Хотя справедливее было бы назвать в данном случае проект ТИМ в том понимании, которое на сегодняшний день складывается в нашей стране.



**Рисунок 2 - Концепция увязки BIM и мониторинг подземных сооружений**

Так же, как и BIM, у нас в стране развивается, так называемое, «зеленое» строительство. Его еще называют экологическим строительством. За рубежом эта концепция увязывается с BIM. Но пока это еще концепция.

ТИМ по начальной идее должно было выступить в качестве русифицированного аналога BIM, но сейчас ТИМ стал развиваться немного далее. Под технологиями информационного моделирования понимают весь комплекс жизненного цикла, а не только одно проектирование. Информационное проектирование без привязки к «дорожной карте» города, к инфраструктуре, к документации на строительство, к эксплуатации сооружения, в том числе и подземного, не имеет смысла, вернее дальнейшего существования. Данные при изысканиях необходимы для проектирования. В свою очередь эти данные необходимы для строительства. Сейчас это понимание нашло в разработке различных приложений к основному проекту BIM, например «цифровой инженер ПТО». В дальнейшем эксплуатация, ремонты и реконструкция с редевелопментом невозможны без знаний о предыдущих шагах. В Великобритании уже разработана такая концепция, но она не применима к нашим реалиям без существенных переработок. В Европе и США информационное моделирование тоже не стоит на месте, и сейчас активно внедряется так называемое BIM-4D [7].

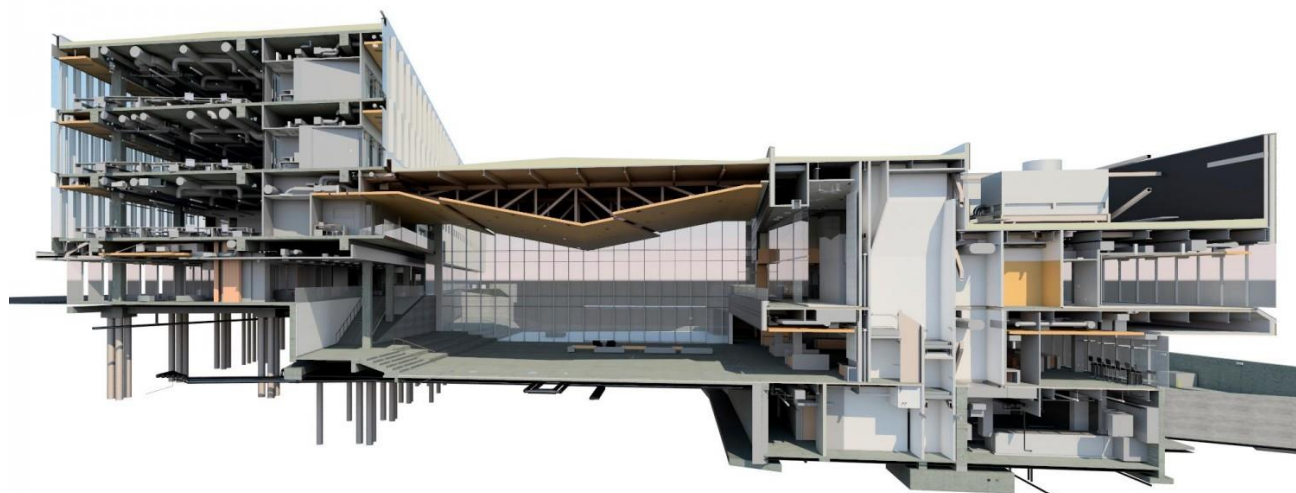
К сожалению, чаще всего в BIM и ТИМ моделируют фундаменты зданий, реже тоннели. Все из-за того, что в основных компьютерных программах, реализующих информационное моделирование, очень скудный набор элементов, из которых можно реализовать проект для освоения подземного пространства. Основные элементы приходится делать вручную, а не из библиотек элементов. Но ситуация постепенно налаживается. Например, в Лондоне уже существует проект ICEBERG - проект прокладки коммуникационных и автодорожных тоннелей под старыми доками (рис.3).



**Рисунок 3 - Проект ICEBERG в среде BIM**

Постепенно проекты в информационном моделировании усложняются. Одним из последних проектов транспортно-пересадочного узла с развитой подземной частью, который анонсировала компания Autodesk при помощи программного продукта Revit, был проект

сооружения с развитой подземной частью, которое разительно отличается от проекта реконструкции аэропорта Хитроу (рис.4).



**Рисунок 4 - Проект BIM**

## **ВЫВОДЫ**

В среде BIM можно проектировать не только простые сооружения, но и геометрически сложные. Основная проблема - это отсутствие должного количества моделей. Из-за большого разнообразия типов подземных сооружений очень сложно сделать библиотеки элементов. Но основные элементы присутствуют во всех универсальных программах. К тому же появляются и специализированные программы для определенных типов надземных сооружений. Следующий шаг развития - это специализированные программы, которыми можно моделировать подземные сооружения или наполнения информационными моделями существующие программы. И всё это доказывает, что области применения информационных технологий при освоении подземного пространства безграничны. Но если перейти от BIM к технологии информационного моделирования в том смысле, который раскрыт в данной статье, то это приведет к более рациональному использованию информационных ресурсов. Тогда проект подземного сооружения в информационной среде превратится из трехмерного проекта САПР в моделирование всего жизненного цикла.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Eastman C. An Outline of the Building Description System. Pittsburg: Inst. of PhysicalPlaning. 1974. 24p.

2. Шеина С. Г., Петров К. С., Федоров А. А. Исследование этапов развития BIM-технологий в мировой практике и России // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 14(66). С. 7-14.
3. Eastman С., Henrion M. Glide: a language for design information systems. // in ACM SIGGRAPH Computer Graphics. 1977. pp.24-33.
4. Макаренко А. В., Юргайтис А. Ю., Волчкова П. А. Перспективы внедрения BIM-технологий в проектный комплекс для создания полипространственной модели объекта // Технология и организация строительного производства. 2017. № 4. С. 18-21.
5. Куприяновский В.П, Воропаев Ю.Н., Покусаев О.Н., Климов А.А., Добрынин А.П., Гапанович Д.А. Технологии BIM для туннелей, используемых в метрополитенах, на железных и автомобильных дорогах и на Hyperloop - системы реального времени на базе IFC и подрывные инновации. // International Journal of Open Information Technologies. vol. 8. no. 9. 2020. pp. 70-93.
6. Гарбер В.А., Симонов Н.Н., Кашко А.А., Панфилов Д.В. Информационное моделирование в тоннелестроении. // Подземные горизонты №23. Май 2020. С. 4-9.
7. K. Farghaly, W. Collinge, M. H. Mosleh [et al.] Digital information technologies for prevention through design (PtD): a literature review and directions for future research // Construction Innovation. 2021. DOI 10.1108/CI-02-2021-0027.

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИК УЧЕТА КАРСТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЯ

**Алькааз А.Х.**

*студент 2 курса 15 группы ИГЭС МГСУ*

**Научный консультант: Сидоров В.В.**

кандидат технических наук, доцент кафедры МГиГ НИУ МГСУ

## **Аннотация**

В строительной науке под карстом понимают процессы, связанные с воздействием подземных вод, которые выражаются в растворении горных пород (известняки, гипс, мел, доломиты, мергели, каменная и калийная соли), что приводит к образованию в земной толще внутренних пустот (полостей, каналов, пещер) и созданию особого характера рельефа местности.

Исследователями выделяются следующие типы карстов:

- карбонатный карст.
- сульфатный карст.
- соляной карст.

Также выделяются различные формы поверхностных проявлений карста:

- карстовые провалы, возникающие внезапно;
- просадки, представляющие собой оседание земной поверхности локального характера.

В общем, нормативные документы выделяют три группы против карстовой защиты:

- профилактические,
- конструктивные,
- геотехнические.

Для определения параметров карстовых деформаций проводятся расчеты с использованием вероятностно-статистических методов. При этом используются данные о инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, проводится учет их возможных изменений при эксплуатации зданий и сооружений, конструктивных особенностей сооружения и срока их эксплуатации. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений на заарестованных территориях производится в соответствии с СП 22.13330.2016. При этом проводится расчет по второй и первой группам предельных состояний с учетом локальных ослаблений оснований в местах образования карстовых форм.



Для исключения образования карстовых деформаций и снижения их неблагоприятного воздействия применяются разные мероприятия на строительной площадке. Осуществление таких мероприятий не всегда представляется возможным и, зачастую, не может гарантировать отсутствие развития карстовых деформаций в будущем. В таких случаях предусматривают мероприятия исходя из расчетов фундаментов с учетом возможного развития карстовых деформаций. Важнейшим вопросом расчета фундаментов на заарестованных территориях является определение расчетных параметров карстовых деформаций и расчетного пролета фундамента.

**Ключевые слова:** карст, моделирование провала, диаметр провала, напряженно-деформированное состояние, дополнительные перемещения.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В работе рассматриваются проблемы расчета воздействия карста на фундаменты и подземную часть зданий. Анализируются требования и подходы в нормативной литературе, предлагаются для применения подходы, учитывающие конструктивные особенности рассматриваемых зданий. По результатам исследований российских специалистов геотехников разработан ряд предложений расчета фундаментов на закарстованных территориях, повышающих эксплуатационную надежность и снижающих материалоемкость защищаемых от воздействий карста фундаментов, основанных на учете взаимодействия «основание – фундамент – здание». Экспериментальными и численными исследованиями НДС основания фундаментов над карстовыми деформациями установлено, что на границах провала грунт разуплотняется, а несущая способность основания и свай снижается, фактический пролет фундамента над провалом увеличивается по сравнению с расчетным. В большинстве случаев наиболее опасным вариантом разрушения основания в связи с карстовой деформацией является карстовый провал под подошвой фундамента, а основным расчетным параметром выступает расчетный диаметр карстового провала.

Диаметры карстовых провалов рассчитаны по методу Троицкого, изложенному в "Рекомендациях по проектированию фундаментов на закарстованных территориях" (НИИОСП им. Н.М. Герсегова, 1985 г.) и в работе "Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий" (В.В. Толмачев, Г.М. Троицкий, В.П. Хоменко. Москва, 1986 г.).

Согласно данному методу, диаметр карстового провала определяется из условия равновесия круглоцилиндрического столба грунта, зависающего над карстовой полостью

определенного размера. Вес столба уравнивается суммарным трением, действующим по его боковой поверхности (рисунок 1).

В расчете учитывается нагрузка от сооружения, глубина заложения, форма и размеры в плане фундаментов сооружения.

Диаметр провала определяется по формуле (1):

$$d_0 = 4(\sum c_i \cdot \Delta z_i + \sum \Delta f_i) / q_i, \quad (1)$$

где  $\Delta z_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта с заданными значениями удельного сцепления  $c_i$ , угла внутреннего трения  $\varphi_i$ , удельного веса  $\gamma_i$ ,  $n$  – число расчетных элементов толщиной  $\Delta z_i$ .

$$\Delta f_i = (a_i p_0 + \sum \gamma_i \Delta z_i) k_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \cdot \Delta z_i, \quad (2)$$

$$k_i = 1 - \sin \varphi_i, \quad (3)$$

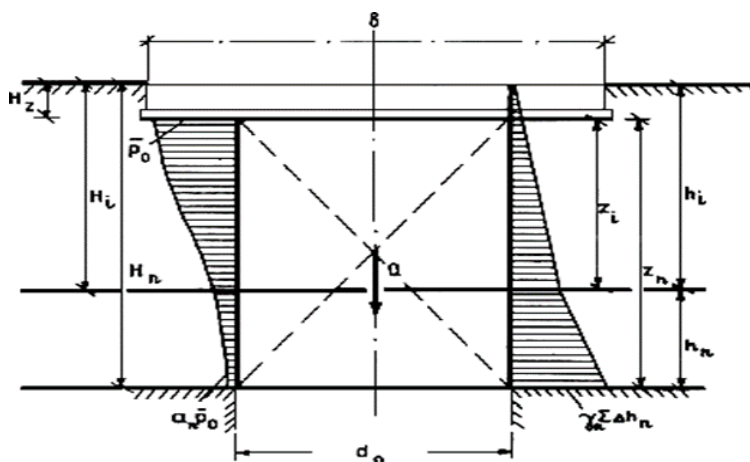
$$q_i = p_0 + \sum \gamma_i \cdot \Delta z_i, \quad (4)$$

$a_i$  – коэффициент распределения напряжений по глубине основания;

$p_0$  – среднее давление под подошвой фундамента сооружения, вычисляемое с учетом природного давления в грунте.

В изложенной методике высота круглоцилиндрического столба грунта принимается равной расстоянию от подошвы фундамента до кровли карстующихся пород (в расчетных примерах такими являются известняки подольско-мячковских отложений).

Анализируя полученные по методу Троицкого расчетные значения диаметров провалов, следует учитывать, что они фактически являются характеристикой прочности покрывающей толщи. При образовании в кровле известняков карстовой полости диаметром меньшим, чем расчетный диаметр по методу Троицкого, несущая способность покрывающей толщи будет обеспечена. При увеличении диаметра карстовой полости в кровле известняков до размеров диаметра провала, рассчитанного по методу Троицкого, на поверхности земли (или под подошвой фундамента) произойдет карстовый провал.



**Рисунок 1** - Расчетная схема для определения диаметра карстового провала по методу Троицкого

Оценка возможности образования карстовых деформаций с использованием методики Троицкого выполняется следующим образом: по формуле (1) рассчитывается диаметр провала  $d_0$ , соответствующий состоянию предельного равновесия круглоцилиндрического столба грунта, и сравнивается с диаметром карстовой полости  $d_{пол}$ , рассчитанным по формуле (5) с учетом скорости растворения.

Формула для расчета диаметра карстовой полости в карстующейся породе с учетом скорости ее растворения и расчетного срока службы сооружения:

$$d_{пол} = d_{нач} + 2 \cdot v \cdot t, \quad (5)$$

где  $d_{пол}$  – расчетный диаметр карстовой полости с учетом скорости растворения породы и расчетного срока службы сооружения;

$d_{нач}$  – начальный диаметр карстовой полости;

$v$  – скорость растворения известняка;

$t$  – расчетный срок службы сооружения.

Для удобства представления и анализа результатов расчетов диаметров карстовых провалов формулу (1) из метода Троицкого представим в следующем виде:

$$d_0 = \frac{4(\sum c_i \Delta z_i + \sum \Delta f_i)}{q_i} = \frac{F_{уд}}{R_{сдвиг}}, \quad (6)$$

где  $F_{уд}$  – удерживающая компонента;

$R_{сдвиг}$  – сдвигающая компонента.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Помимо расчетных методов определения максимального размера карстовой полости, которая может появиться в непосредственной активной зоне фундамента, выполнены численные расчеты для условий двух комплексных зданий для определения дополнительных перемещений в их основании.

Геомеханическая конечно-элементная модель массива грунта была построена на основе представленных материалов инженерно-геологических изысканий и проектной документации. Представленные расчеты напряженно-деформированного состояния системы «здание-основание» выполнялось методом конечных элементов на сертифицированном программном комплексе PLAXIS 2D и PLAXIS 3D, апробированном при строительстве большого числа строительных объектов.

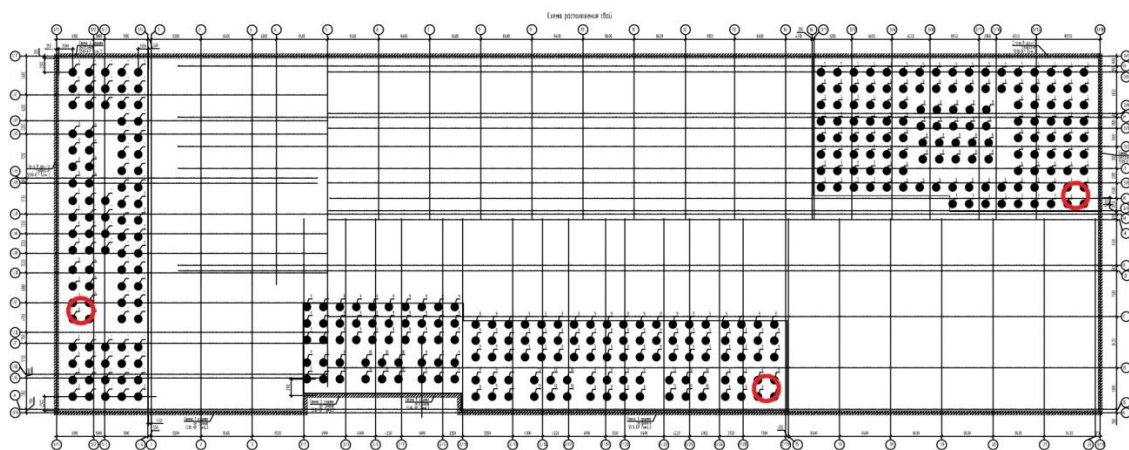
Выбор механической модели грунтов основания во многом определяет успех количественного прогнозирования НДС массивов грунтов, служащих основанием или средой различных сооружений. В настоящее время наиболее распространёнными являются:

- упруго-идеально пластическая модель Мора-Кулона;

- упругопластическая модель с упрочнением (Hardening soil).

Расчет карстовых деформаций в условиях реального объекта.

План фундаментов многофункционального жилого комплекса представлен на рисунке 2. Целью данного примера является, выполнение численного моделирования напряженно-деформированного состояния (далее – НДС) системы «основание – фундамент – подземная часть» для прогнозирования деформаций основания зданий проектируемого комплекса.



**Рисунок 2** - План свайных фундаментов рассматриваемого примера многоэтажного здания с указанием зон моделирования карстовых провалов

Расчеты выполнялись в несколько этапов:

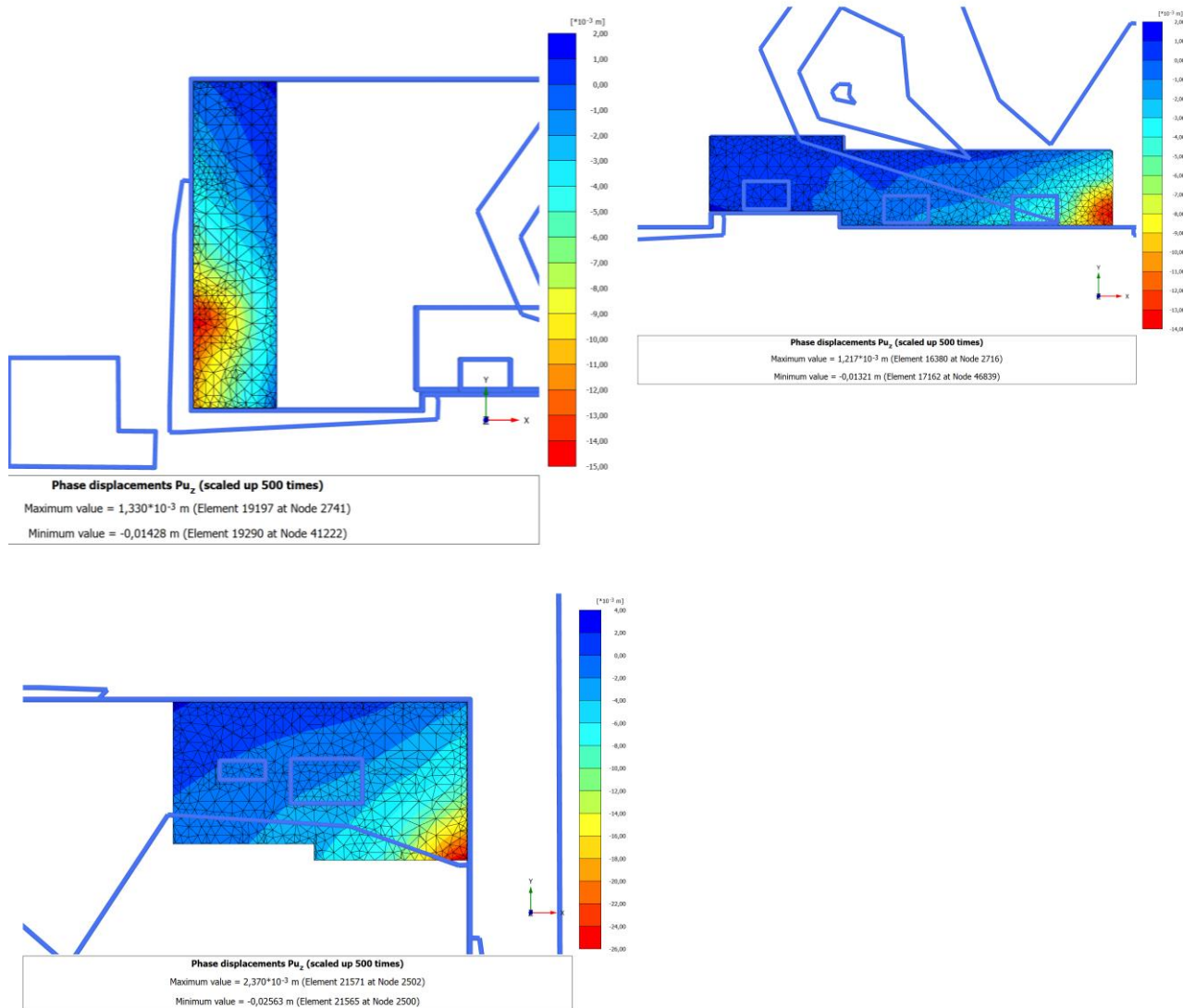
1. Моделирование исходного (природного) НДС массива грунта.
2. Моделирование НДС грунтового основания зданий окружающей застройки и подземных коммуникаций при их строительстве.
3. Устройство пионерного котлована.
4. Устройство ограждающей конструкции типа «стена в грунте».
5. Откопка глубокого котлована на всю проектную глубину.
6. Строительство зданий комплекса.

В процессе двухмерных расчетов влияния карстового провала на осадки высотного здания рассматривались случаи возникновения полостей расчетного диаметра до 7 м в центральной и угловых зонах основания на глубинах, соответствующих расположению карстующихся пород в соответствии с исходными инженерно-геологическими изысканиями.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Пример 1. Прогноз дополнительных осадок фундаментов здания при моделировании системы в трехмерной постановке.

Моделирование строительства жилого комплекса производилось с учетом очередности возведения его частей в соответствии с проектом организации строительства и учитывает взаимное влияние частей комплекса друг на друга. Результаты расчетов представлены на момент полного завершения строительства комплекса. Несущая способность свай для проведения расчета принималась в соответствии с данными проектной документации.



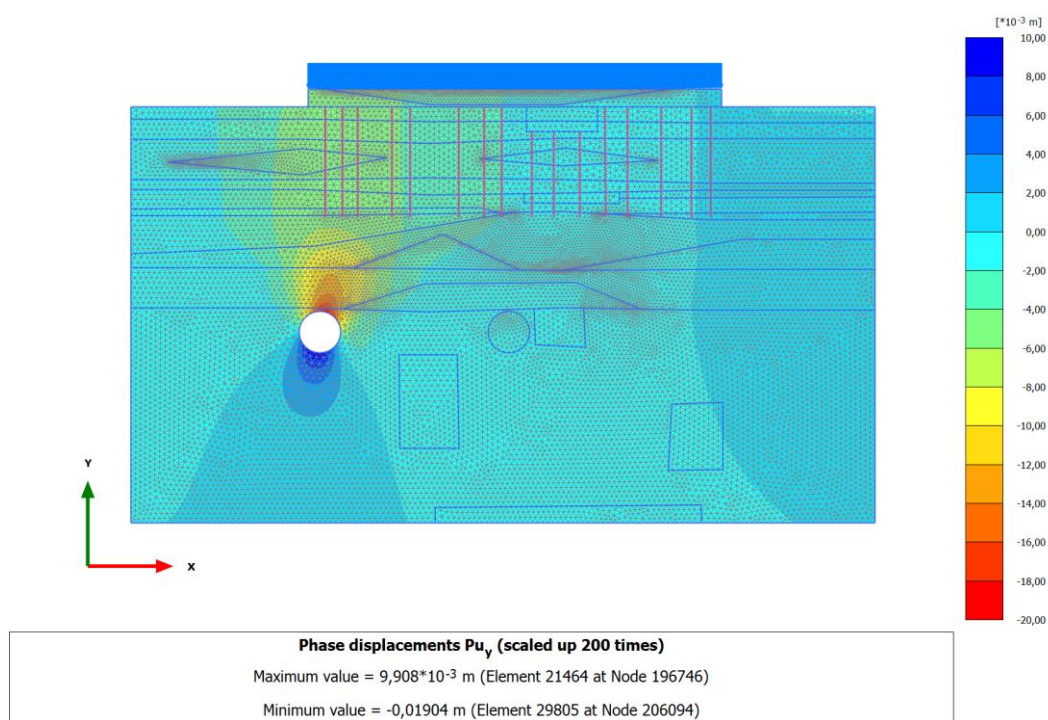
**Рисунок 3** - Дополнительные перемещения фундаментов корпусов 1-3 жилого комплекса при моделировании в его основании возникновения карстовых полостей

Сравнение результатов расчёта для корпусов в таблице 1.

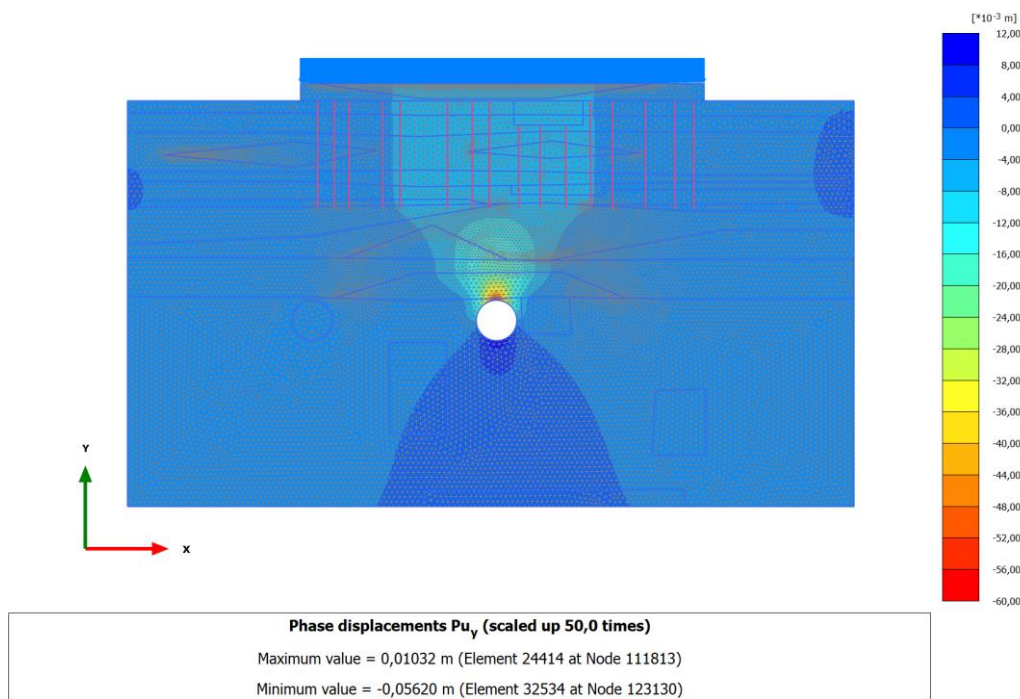
**Таблица 1.** Дополнительные деформации основания комплекса вследствие возникновения в основании карстовой полости (пространственная постановка)

	Корпус	Максимальная дополнительная осадка фундаментов вследствие влияния появления карстовой полости в основании, мм	Максимальная дополнительная относительная разность осадок фундаментов вследствие влияния появления карстовой полости в основании
1	Корпус 1	14,28	$(14,28-0)/42874=0,00033$
2	Корпус 2	13,21	$(13,21-0)/77396=0,00017$
3	Корпус 3	25,63	$(25,63-0)/48632=0,00053$

Пример 2. Прогноз дополнительных осадок фундаментов здания при моделировании системы в плоской постановке.



**Рисунок 4** - Фазовые изополя дополнительных вертикальных перемещений при возникновении карстовой полости условным диаметром 7 м в краевой части проекции фундамента здания на кровле карстующихся пород, максимальная дополнительная осадка фундамента здания составляет 5,7 мм



**Рисунок 5** - Фазовые изополя дополнительных вертикальных перемещений при возникновении карстовой полости условным диаметром 7 м в центральной части проекции фундамента здания на кровле карстующихся пород, максимальная дополнительная осадка фундамента здания составляет 5,9 мм

## ВЫВОДЫ

1. Согласно примеру с использованием пространственных расчетов, полученные корпусами 1-3 дополнительные деформации лежат в пределах допустимых значений в соответствии с таблицей К.1 СП 22.13330.2016 для зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния нового строительства и реконструкции. Однако допустимая величина дополнительных перемещений фундаментов будет также зависеть от того, к какой категории технического состояния будет относиться постройка к тому времени, когда произойдет провал. При правильной эксплуатации зданий комплекса и соответствии его I (нормативное) или II (работоспособное) категориям, дополнительные деформации, полученные по дополнительным расчетам, будут находиться в нормативных интервалах и безопасность эксплуатации здания будет обеспечена ( $S_{доп}=3-5$  см,  $(\Delta S/L)_u=0,001-0,002$ ).

2. Моделирование возникновения карстовой пустоты условным диаметром 7 м в угловой части проекции фундамента здания на уровне кровли карстоопасной породы привело к возникновению дополнительных вертикальных перемещений грунтового основания и фундамента здания с максимальным значением 5,7 мм. В связи с этим влияние

возникновения карстовой полости на сохранность и безопасность эксплуатации блока №9 можно считать незначительным.

3. Как видно по полученным результатам, различные методы моделирования возникновения карстового провала приводят к различным количественным результатам величинами от нескольких мм до сантиметров.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Готман А.Л., Магзумов Р.Н. Метод расчета свайных ленточных фундаментов при образовании карстового провала // Вестник МГТУ. - 2014. - № 2. - С. 74-83.

2. Шарапов Р.В. Показатели наблюдения и оценки карстовых процессов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. - 2013. - № 1. - С. 28-34.

3. Осипов В.И., Кутепов В.Н., Зверев В.П. и др. Опасные экзогенные процессы. М., 1999.

4. Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях. НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 1985.

5. Готман Н.З. Расчет карстозащитных фундаментов зданий и сооружений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. - №4. – С. 19-35.

6. Готман А.Л., Готман Н.З., Каюмов М.З. Методика расчета фундаментов заглубленных сооружений на закарстованных территориях // Жилищное строительство. – 2011. - №9. – С. 13-15.

7. Максимович Г.А. Основы карстологии. Том 1. // Пермское книжное издательство, Пермь, 1963.

8. СП 499.1325800.2021 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от карстово-суффозионных процессов.



## **СЕКЦИЯ ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

## ВОЗМОЖНОСТЬ ВЗРЫВА НЕГОРЮЧИХ СМЕСЕЙ

**Андреева А.В.**

*Студентка 4 курса 37 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Горев В.А.**

*доктор физико-математических наук, профессор кафедры КБС НИУ МГСУ*

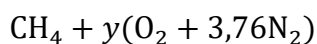
Аварийные газовые взрывы в основном происходят в режиме турбулентного дефлограционного горения. Дефлаграционное горение характеризуется величиной скорости распространения зоны горения от места инициирования и наличием концентрационных пределов распространения [1-3]. Прекращение распространения зоны горения может происходить при достижении фронтом горения границы, за которой находится негорючая смесь. Например, если смесь сильно разбавлена воздухом. Другой механизм срыва горения реализуется при высоких скоростях потока холодной горючей смеси, когда скорость теплоотвода из зоны горения превышает скорость тепловыделения. Таким примером может служить срыв горения за стабилизатором или гашение при выходе горения из одного объема в другой через отверстие [4-5]. В последующем горячие продукты сгорания перемешиваются с холодной горючей смесью и создаются условия для теплового взрыва [6-7].

Целью работы является проверка гипотезы образования взрыва бедной смеси с продуктами сгорания богатой смеси высокой температуры.

В данной работе в качестве бедной смеси выступает смесь метан + воздух. Бедную смесь перемешивают с продуктами горения богатой смеси метан + воздух.

Концентрационные пределы воспламенения метана: НКПВ = 5,3 % об, ВКПВ = 15 % об.

Так как рассматривается бедная смесь, то концентрацию метана необходимо взять ниже НКПВ. Тогда бедная смесь имеет вид:



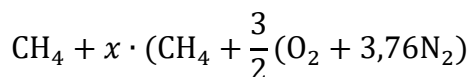
Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ :

$$\alpha = \beta_{\text{факт}} / \beta_{\text{стех}} = y/2$$

$\beta_{\text{стех}} = 2$  т.к. для полного окисления метана необходимо две молекулы кислорода.

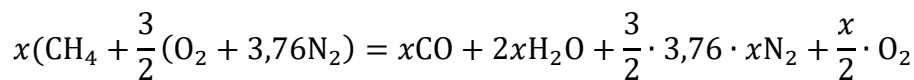
В качестве продуктов сгорания используются различные смеси с  $\alpha < 1$  (т.е. богатые смеси) так что в их продуктах горения остаются горячие компоненты в виде CO и H<sub>2</sub>O.

Рассматривая горение богатой смеси задаемся, что метан сгорел не полностью (одна молекула  $\text{CH}_4$  не участвует в горении):

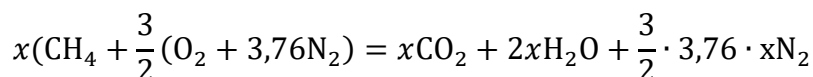


$x$  – доля веществ, участвующих в горении.

Определили продукты горения богатой смеси в результате реакции в момент смешения:

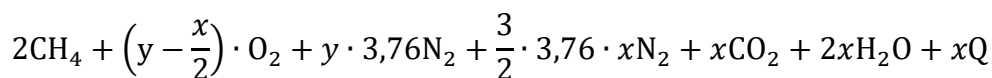


Далее происходит догорание  $\text{CO}$  до  $\text{CO}_2$  за счет кислорода бедной смеси:

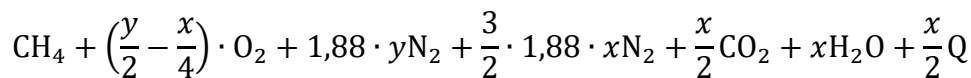


В ходе реакций выделяется теплота, которая подогревает бедную смесь.

После сгорания  $x\text{CH}_4$ , продукты горения смешиваются с бедной смесью и такая система будет иметь вид:



Система, приведенная к одной молекуле метана, имеет вид:



Количество богатой смеси, необходимое для достижения температуры после смешения продуктов горения с бедной смесью метана и воздуха определяется через энтальпию полученной системы и тепловой эффект сгорания метана и догорания  $\text{CO}$  до  $\text{CO}_2$ .

Результаты расчета:

Определили количество богатой смеси, при котором после смешения ее ПГс бедной смесью достигается определенная температура. Так при

$T=700^\circ\text{K}$	$T=900^\circ\text{K}$
необходимо $x=0,4$	необходимо $x=0,69$
$T=750^\circ\text{K}$	$T=1000^\circ\text{K}$
необходимо $x=0,47$	необходимо $x=0,88$
$T=800^\circ\text{K}$	
необходимо $x=0,54$	

Воспламенение бедной смеси при перемешивании с горячими ПГ произойдет не сразу, а через некоторый промежуток времени. Время с момента смешения до воспламенения называется периодом индукции [8].

$$t_{\text{инд}} = \theta \cdot (e - 1) \cdot \bar{c}_p \cdot \bar{p} / (e \cdot Q \cdot W_0)$$

$\theta$  – характерная температура саморозогрева при адиабатическом взрыве;

$\bar{C}_p$  – молярная теплоемкость системы;

$\bar{\rho}$  – плотность системы;

$W_0$  – скорость реакции;

$Q$  – теплота, выделившаяся в ходе реакции.

С повышением температуры теплоемкость системы растет, плотность системы уменьшается, скорость реакции возрастает.

Период индукции при различных температурах системы после смешения:

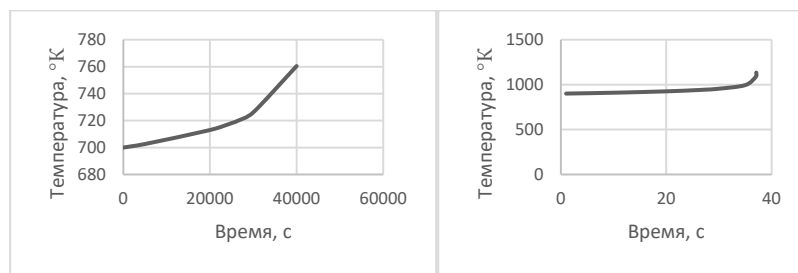
$T=700^\circ\text{K}$   $t_{\text{инд}}=7,36$  ч                       $T=900^\circ\text{K}$   $t_{\text{инд}}=27,4$  сек

$T=750^\circ\text{K}$       $t_{\text{инд}}=57,3$                        $T=1000^\circ\text{K}$       $t_{\text{инд}}=2,14$

мин

сек

$T=800^\circ\text{K}$   $t_{\text{инд}}=8$  мин



а)

б)

**Рисунок 1** - Зависимость температуры системы от времени:

а) при температуре смеси  $700^\circ\text{K}$

б) при температуре смеси  $900^\circ\text{K}$

Можно сделать вывод, что при более низких температурах системы период индукции возрастает и может составлять от нескольких часов до суток, а при более высоких температурах период индукции мал и составляет от нескольких секунд до миллисекунд. После периода индукции начинает резко возрастать температура системы, возрастает скорость реакции. Из-за увеличения температуры происходит резкое расширение и вследствие происходит взрыв.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Льюис Б., Эльбе Г. Горение, пламя и взрывы в газах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1968. – 592 с.
2. К. И. Щелкин, Я. К. Трошин. Газодинамика горения. - Изд-во Акад. наук СССР, 1963. - 255 с.

3. Зельдович Я. Б., Баренблатт Г. И., Либрович В. Б., Махвиладзе Г. М. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980. -478 с.
4. Горбатко А. А., Кузнецов В. Р., Лунатов П. А. Применение фронтальной модели горения к анализу стабилизации пламени плохообтекаемыми телами. В сборнике «Горение гетерогенных и газовых систем». – Черногоровка. Акад. наук СССР, 1986.
5. P. Thibault, Y. K. Liu, C. Chan, J. H. Lee, R. Knystautas, C. Guirao, B. Hjertager, K. Fuhre. Transmission of an explosion through an orifice. 19<sup>th</sup> Symposium (International) on Combustion, 1982. - 599–606.
6. Rychter T. J. (1989). Multipoint ignition by flame dispersion. Combustion and Flame, 75(3-4), 417–420.
7. Moen I. O., Bjerketvedt D., Engebretsen T., Jenssen A., Hjertager B. H., & Bakke J. R. (1989). Transition to detonation in a flame jet. Combustion and Flame, 75(3-4), 297–308.
8. Горев В.А. Теория горения и взрыва: Учебн. пос. – М.: МГСУ, 2010. – 200 с.

## ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ С НАГРЕТЫМИ ПРЕДМЕТАМИ

*Домбровская В.Е.*

*студентка 4 курса 37 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Смирнов В.В.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры КБС НИУ МГСУ*

Современное промышленное производство зачастую сопровождается выделением большого количества тепла. Горячие цеха, компрессорные, котельные на высокотемпературных носителях, комнаты лабораторий, химических процессов и др. - помещения с постоянным наличием тепловых процессов внутри. Использование огня в качестве орудия труда, нагрев корпуса технологического оборудования и окружающих поверхностей, повышенные температуры производства вследствие специфики - факторы, осложняющие подбор оптимальной противопожарной защиты помещения. Вероятность возникновения пожара в таких объемах в большой степени зависит от целостности производственного оборудования, качества установленных систем пожарной автоматики и вентиляции помещения, а также от качества реализации защитных мероприятий и дальнейшей технической эксплуатации. Воспламенение может инициироваться как продуктами деятельности – раскаленные капли жиров и искры, энергии которых достаточно для воспламенения сторонних объектов, так и случайными авариями рабочего оборудования, в частности – разгерметизацией маслопровода или маслоблока под давлением, разбрызгивание содержимого горючего в разных направлениях. Пожароблагоприятные микроклиматические условия стабилизируют горение, которое, в дальнейшем, сложно устранить, чтобы температурные параметры очага снизились, дополнительно необходимо охлаждать поверхности и техн. установки, прогревающие зону зажигания. Важно ответственно подходить к контролю и поддержанию оптимальных условий процесса, соблюдению требований пожарной безопасности по устройству производства, выбору применяемого оборудования, его сертификации, организации комплекса противопожарных мер на объекте.

Актуальный подход к обеспечению пожаробезопасности помещений с нагретыми предметами заключается в применении комбинированных систем пожарной защиты (КСПЗ): дифференциальные извещатели с интеллектуальным анализом данных (КПИ) и установки тушения (КУПТ). У такой автоматики минимизирована вероятность возникновения ложного срабатывания вследствие повышения температур рабочего климата, а в качестве

огнетушащего вещества (*ОТВ*) выбрана комбинация средств, наиболее подходящих для охлаждения нагретых поверхностей и подавлению очага возгорания. Флегматизирующие смеси возможно подавать одновременно или по запланированной очереди, составы разработаны для синергичной работы. Первая очередь направлена на подавление очага возгорания, вторая - на охлаждение поверхностей или поддержания огнетушащей концентрации на период охлаждения. Используются следующие комбинации ОТВ: газ – пена; газ – тонкораспыленная вода (*ТРВ*); газ – порошок; порошок – ТРВ; порошок – пена.

Следует отметить, подобная автоматика значительно дороже традиционной, а ее проектирование и монтаж требует высокого уровня квалификации. Дополнительный фактор, влияющий на стоимость - площадь постоянно открытых проемов помещения. Чем она больше, тем больше тушащего состава понадобится для подавления пожара. Однако при должном соблюдении всех правил монтажа и эксплуатации дороговизна окупается достаточно высоким уровнем защиты.

Предлагаю рассмотреть несколько сценариев развития горения в “горячих” производственных помещениях, где наиболее целесообразно применять комбинированные системы обнаружения и тушения пожаров:

#### **Помещения газовых компрессорных:**

Газоперекачивающие агрегаты компрессируют природный газ для его дальнейшей транспортировки. Во время работы температура корпуса компрессора высокого давления может развиваться до 340°C, камеры сгорания и турбины высокого давления – до 550°C.

**Сценарий возможной аварии:** разгерметизация блока с маслом, циркулирующим под высоким давлением, разбрызгивание содержимого на раскаленный корпус аппарата, воспламенение.

**Мероприятия по снижению пожароопасности:** установка высокотемпературных дифференциальных КПИ типа “тепло-пламя”, применение локальной КУПТ типа “газ - ТРВ” или “газ - газ”. Запуск тушения осуществляется при совместном нарастании выбранных критериев извещателя после времени отложенного пуска в две очереди.

#### **Помещения по производству ЛВЖ:**

Например, перекачка керосина (температура воспл. 72°C) насосными установками высокого давления, корпус которых способен нагреваться до 130°C. При развитии негативного сценария, пожар установки следует тушить двойной очередью.

**Сценарий возможной аварии:** разгерметизация перекачивающего аппарата под давлением, попадание керосина на нагретый корпус насоса, воспламенение.

**Мероприятия по снижению ПО:** установка дифференциальных КПИ типа “тепло-пламя”, применение локальной КУПТ типа “газ - газ”, “газ - ТРВ” или “пена - ТРВ”, тушение осуществляется в две очереди.

***Помещения промышленных кухонь:***

Попадание капель жира на нагретые поверхности может привести к возникновению быстроразвивающегося сложноподавляемого пожара. Остросовременное тушение основывается на применении составов, вступающих в реакцию омыления с жиром, образуя слой пены. Дополнительно рекомендуется обрабатывать воздуховод не реже раза в год.

**Сценарий возможной аварии:** попадание капель масла на раскаленную поверхность производственной плиты, возгорание, попадание раскаленных частиц в вытяжной воздуховод, воспламенение стенок воздуховода (на них также имеются скопившиеся горючие продукты деятельности - жир),

**Мероприятия по снижению ПО:** обработка воздуховода защитным пленкообразующим антипиреном “ОгнеВент” каждые 10 месяцев, установка дифференциальных КПИ типа “пламя-тепло” или “дым-тепло”, установка ручных извещателей около вероятно-пожароопасных зон для моментальной ликвидации возгорания работающим персоналом, применение локального КУПТ воздуховода и плиты с составом “ANSULEX - азот”, ОТВ подаются совместно.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Министерство внутренних дел СССР, всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной обороны // Противопожарная защита газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций магистральных газопроводов - 1970 г.
2. Свод правил 484.1311500. // Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты - 2020 г.
3. Свод правил 485.1311500.//Установки пожаротушения автоматические - 2020 г.



## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВЗРЫВНОЙ НАГРУЗКИ ОТ КРЕПЛЕНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

**Иванов В.И.**

*студент 4 курса 38 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Челекова Е.Ю.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры КБС НИУ МГСУ*

Рассмотрение множества типовых аварийных ситуаций на практике или в контролируемых лабораторных условиях показывает, что разброс параметров взрывной нагрузки от внутренних взрывов в зданиях, значительно зависит от качества и особенностей крепления предохранительной конструкции (ПК). Но на текущий момент запас по прочности креплений ПК для всех случаев принимают  $1,64\sigma$  от средней расчётной нагрузки. Таким образом можно утверждать, что существует методологический пробел в определении требуемых экономически обоснованных параметров крепления ПК. Однако при использовании нестандартных, штучных изделий или материалов, этого может оказаться недостаточно для проектирования с достаточно взрывостойким уровнем. [1-3]

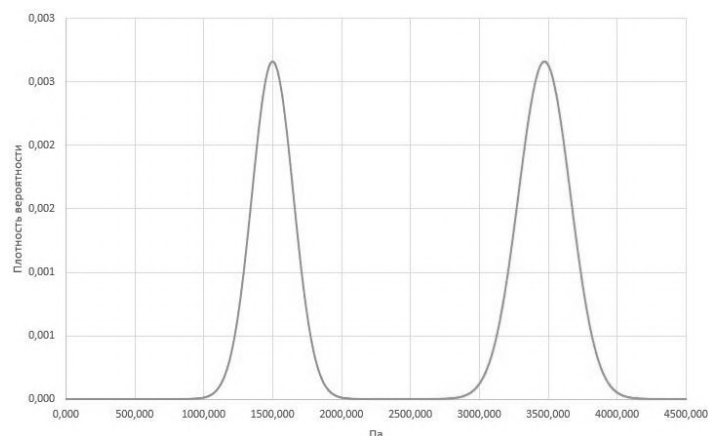
В рамках данного исследования, определялось то, как влияет показатель рассеивания значений случайной величины, т.е. среднеквадратичное отклонение ( $\sigma$ ), прочностных характеристик крепёжных элементов предохранительной конструкции от их среднего значения. В качестве данных по прочностным характеристикам ПК использовалось классическое Гауссовское распределение.

$$f\left(Ver_{P_{вскр}}\right) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$$

Где  $f\left(Ver_{P_{вскр}}\right)$  - плотность вероятности вскрытия ЛСК с некоторым давлением;  $a$  – математическое ожидание;  $\sigma$  – стандартное отклонение.

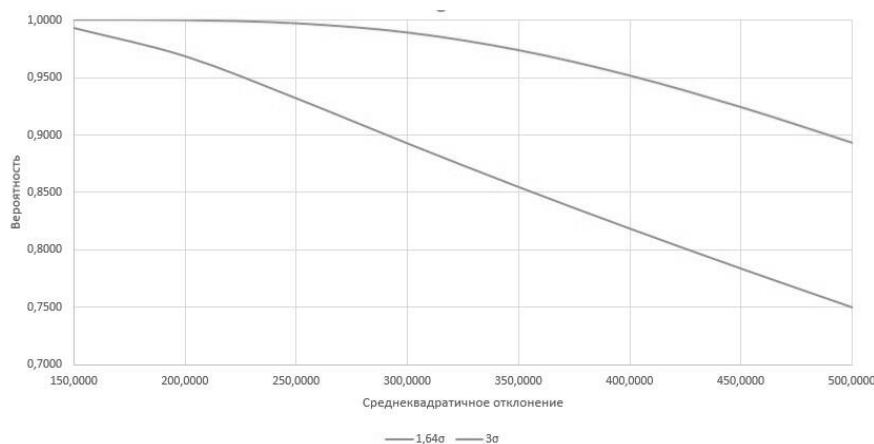
В результате численного решения уравнений, описывающих динамику давления с учётом движения ЛСК, для каждого из множества возможных давлений вскрытий ПК, была получена соответствующая расчётная нагрузка (Рис.1). [4-5]

$$\begin{cases} \frac{d\Delta P}{dt} = 3(1 + \bar{t})^2 - 0,66\bar{S}_1 x(1 + \Delta P)^{\frac{1}{2}} \\ \frac{d^2x}{dt^2} = B_1 S_1 (+\Delta P) \end{cases}$$



**Рисунок 1** - Гауссовское распределение прочностных характеристик предохранительных конструкций и расчётное распределение нагрузки

Далее было проведено сравнение того, как сильно влияет разброс значений прочностных характеристик крепления ПК на вероятность не превышения расчётной нагрузки максимально приемлемой (Рис.2).



**Рисунок 2** - Зависимость вероятности не превышения расчётной нагрузки максимально приемлемой (в строительстве 95%)

Как видно из графика, максимально допустимое отклонение прочностных характеристик ПК увеличивается более чем в 1,5 раза при увеличении запаса по прочности до  $3\sigma$ .

Таким образом, понимая, как изменяется вероятностное распределение от свойств материалов, продукции и конструкций можно более правильно выбрать “коэффициент запаса” по нагрузке. Что даёт возможность:

- Обеспечить более обоснованную надёжность несущих конструкций;
- Снижения коэффициента запаса для рационализации расходов, если используются качественные материалы и строительная продукция.

Так же можно сформулировать такие выводы:

- ПК необходимо закреплять таким образом, чтобы прочная характеристика не превышала 17% от средней;
- При показателе вариативности меньше 2,5 то надёжность по нагрузке превышает 95%, что является общепринятым в проектировании строительных объектов в случае редких нагрузок.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пилюгин Л.П.* Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. М. Пожнаука, 2000 – 224с.
2. *Расторгуев Б.С.* Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях. АСВ. Москва 2007
3. *Лушин О.В., Попов Н.Н., Расторгуев Б.С.* Расчёт конструкций сооружений на действие взрывных волн. М. Стройиздат, 1981. с. 5-28.
4. *Горев В.А., Мольков В.В.* О зависимости параметров внутреннего взрыва от устройства предохранительных конструкций в проемах ограждающих стен промышленных и жилых зданий. Пожаровзрывобезопасность 2018 – т 27 № 10. с. 6-26 DOI: 10.18322/PVB.2018.27.10.6-25.
5. Vycheslav Gorev The use of a safety construction for explosion relief venting. ESCI 2018 MATEC Web of Conferences 193(4):02009 (2018) DOI: 10.1051/matecconf/201819302009.

# ЗАВИСИМОСТЬ ОГНЕСТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАПОЛНЕНИЯ ПРОЕМОВ В ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ПРЕГРАДАХ ОТ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Комиссарова А.А.**

*студентка 4 курса 37 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Портнов Ф. А.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры КБС НИУ МГСУ*

При распространении огневого воздействия по зданию или сооружению одним из барьеров, который может препятствовать или остановить пламя, выступает дверь.

Основная задача противопожарного дверного блока — это не пропустить огонь снаружи дальше дверного проема.

Виды конструкций:

- по материалу — древесина, сталь, алюминий и стекло;
- по типу открывания — раздвижные, распашные, маятниковые;
- по количеству створок — однопольные и двухпольные;
- по наличию порога — со стационарным, автоматическим выпадающим порогом или с сэндвичем;
- по наличию рамы — рамные или безрамные (цельностеклянные);
- по площади остекления — менее 25% и более 25%.

Для определения огнестойкости противопожарных дверей проводятся испытания и определяется предел огнестойкости. Предел огнестойкости — это период времени (обозначается в минутах или часах) с момента начала воздействия пламени на поверхность, до наступления одного или нескольких предельных состояний.

Основные предельные состояния ПД:

Е — потери целостности двери;

- появление устойчивого пламени длительность 10 с и более;
- образование в конструкции образца сквозных отверстий;
- выпадение полотна опытного образца из коробки.

І — теплоизолирующей способности;

- повышения температуры на необогреваемой поверхности полотна более чем на 140°C;

А также:

S — достижение предельной величины дымогазонепроницаемости — для дымогазонепроницаемых ПД с площадью остекления более и менее 25% от площади полотна;

- уменьшение сопротивления дымогазопроницанию конструкции ниже минимально допустимого значения.

Методика определения пределов огнестойкости. Проведение испытаний.

1. Испытываемый образец помещают в печь вертикально таким образом, чтобы его положение соответствовало обычным условиям эксплуатации;

2. Не менее чем в 5 точках устанавливают термопары для снятия температурных параметров;

3. Дверь подвергают воздействию огня и высоких температур до того, как будут зафиксированы (по возможности) все предельные состояния. Обогрев, с одной стороны, при стандартном температурном режиме в соответствии с ГОСТ 30247.0-94 ( $T - T_0 = 345 \lg(8t + 1)$ ). С другой стороны, замеряем температуру на полотне и на коробке, в критических точках. Смотрим потерю теплоизолирующей способности (I) — достижение критических температур и потерю целостности (E) — появление пламени, порывы теплового потока, образование щелей;

4. Испытывают два одинаковых образца, предел огнестойкости в минутах высчитывают, как среднее арифметическое

Рассмотрим несколько проведенных испытаний на предельные состояния EI и S.

В таблице 1 представлено описание дверей, на которых проводились испытания.

**Таблица 1**

Габаритные размеры	Однопольные (1000x2300) мм, Двупольные (1700x2300) мм
Коробка (тип)	Сборная П-образная конструкция
Материал	МДФ, Фанера, а также комбинация этих материалов
Толщина	90 мм
Заполнение	Фанера
Материал	Кромка ПВХ белый (60мм), Грунтовка УФ-отверждения Барелик Primer Roller White, Краска УФ-отверждения Барелик Fond Roller NR,
Толщина	45 мм
Внутреннее	ДСП

заполнение	
Покрытие	С одной стороны лакокрасочное покрытие толщиной 0,150 мкм, с другой – облицовка натуральным шпоном толщиной 0,3 мм
Запирающее устройство	Замок Velldoris 4292 хром
Светопрозрачное заполнение	Светопрозрачное заполнение – стекло многослойное пожаростойкое марки БрандГласс ПАРАФЛАМ NT EIW30 толщиной 20 мм
Уплотнитель	Вспенивающийся уплотнитель
Марка	Velldoris уплотнитель УК 10/34(бел)
Петли	Петля NTR-3248
Дополнительные элементы	Автопускной порог PLANET HS FH+RD

#### Испытания на EI

Потеря целостности E – показатель, который характеризует способность конструкции сдерживать проникновение открытого пламени и продуктов горения со стороны возгорания на необогреваемую поверхность.

Потеря теплоизолирующей способности I - показатель характеризует безопасность эвакуации вдоль конструкций и гарантированное отсутствие воспламенения примыкающих элементов облицовки и интерьера.

Образец 1. Произошло воспламенение через 27 минут.

При обследовании выявлена причина – произошло расслоение материала полотна в зоне стыка дверей (где располагается замок, который вследствие стал тепловым мостиком). Кроме того, в этой зоне неравномерная структура полотна (есть вырез под замок).



**Рисунок 1** - Образец 1. Двупольные двери

Образец 2. Произошло воспламенение через 26 минут.

При обследовании выявлена причина – расслоение полотна в зоне выпадающего порога (конструкция, которая закрывает щель между полом и створкой двери).



**Рисунок 2** - Образец 2. Однопольная дверь

Испытания на дымогазопроницаемость – S

Образец 3. Произошла потеря дымогазонепроницаемости через 26 минут.

При обследовании выявлена причина – прогрев и расщепление полотна снизу в области выпадающего порога вверх вдоль прихлопа и дальнейшее вскрытие двери.



**Рисунок 3** - Образец 3. Однопольная дверь

Образец 4. Произошла потеря дымогазонепроницаемости через 25 минут.

При обследовании выявлена причина – прогрев и расщепление полотна в области петель, которые являются тепловыми мостиками (зоной с неравномерным материалом полотна), в связи с чем произошло вырывание полотна под собственным весом.



**Рисунок 4** - Образец 4. Двупольная дверь

В ходе проведенных испытаний по предельным состояниям мы рассмотрели поведение дверей и сделали вывод, какие элементы дверей являются причинами расслоения материала полотна. К этим элементам относятся дверная фурнитура: замки, выпадающие пороги, петли, доводчики и т.д. Эти элементы фурнитуры являются элементами, на которые приходится большой приток тепла. Кроме того, устройства крепления этих элементов являются тепловыми мостиками.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романенков, И. Г. Левитес Ф.А. Огнезащита строительных конструкций / М.: Стройиздат, 1991. - 320с
2. Собурь, С. В. Заполнение проемов в противопожарных преградах: учеб. - справ. пособие / 2-е изд., доп. (с изм.). - М.: Пожарная книга, 2006. - 165 с.
3. Федоров В. С. [и др.]; [рец: А. Н. Баратов, В. И. Травуш] Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций / М.: Изд-во АСВ, 2009. - 408 с.
4. ГОСТ 30247.0-94 (ИСО 834-75) / Межгосударственный стандарт Конструкции строительные Методы испытаний на огнестойкость.



## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В МУЗЕЙНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

**Карасева В.С.**

*студентка 4 курса 38 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Медяник М.В.**

*старший преподаватель кафедры КБС НИУ МГСУ*

Статистика пожаров в музейных учреждениях свидетельствует о том, что их количество по стране не снижается. Вопрос обеспечения пожарной безопасности музейных учреждений стоит остро. Актуальность противопожарной защиты музеев предопределена тем, что их следует рассматривать как объекты повышенной пожарной опасности.

В качестве примера рассмотрим капитальный ремонт нежилого здания фондохранилища музейных предметов с открытым хранением театральных костюмов.

Объект строительства располагается по адресу г. Москва, ул. Элеваторная, дом 3. Здание 1990 гг. постройки состоит из двух блоков: один блок 4-х этажный, второй блок 2-х этажный. Под всем зданием имеется подвал.

Техническими решениями предусматривается капитальный ремонт существующего нежилого здания с последующим размещением в нем фондохранилища с музейными коллекциями. Фондохранилище для музеев, подведомственных Департаменту культуры города Москвы, предназначено для хранения музейных предметов и музейных коллекций, включенных в состав Музейного фонда Российской Федерации в соответствии с Федеральным законом № 54-ФЗ.

При разработке технических решений капитального ремонта фондохранилища предусматривается функциональное зонирование помещений с учетом взаимосвязей между зонами и обеспечения оптимальных путей перемещений сотрудников и музейных предметов.

В здании фондохранилища размещаются основные зоны:

- приемно-разгрузочная зона, размещаемая в подвале и на 1 этаже здания;
- зона временного размещения музейных предметов, размещаемая в подвале здания;
- зона хранения тары/упаковки, размещаемая в подвале здания;
- зона карантина и биообработки, располагаемая на 1 этаже здания,
- зона хранения, включающая зону открытого хранения, резервного хранения, размещаемые в подвале, на 1-3 этажах здания;
- зона музейно-выставочных работ на 1 этаже здания;

- зона реставрации, размещаемая на 1 и 2 этажах;
- административно - хозяйственная зона, включающая административные помещения персонала, кабинеты хранителей, санитарно-бытовые помещения.

Для каждого музея предусматривается индивидуальный блок хранения, обеспеченный системами безопасности (многоконтурной системой охраны), поддержанием температурно-влажностного режима с возможностью регулирования индивидуальных параметров в отдельных помещениях каждого блока, приточно-вытяжной вентиляцией и наличием кабинетов для хранителей музеев.

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности:

С целью защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара (ОФП), а также ограничения его последствий (ч.1 ст.51 №123-ФЗ) предусмотрена система противопожарной защиты объекта.

Защита людей и имущества от воздействий ОФП обеспечена выполнением следующих требований:

- применение объемно-планировочных решений, обеспечивающих ограничение распространения пожара за пределы очага;
- устройство эвакуационных путей, удовлетворяющих требованиям безопасной эвакуации при пожаре;
- устройство систем обнаружения пожара (установок и систем пожарной сигнализации), оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре;
- применение систем коллективной защиты (в том числе противодымной) и средств индивидуальной защиты людей от воздействия ОФП.
- применение основных строительных конструкций с пределами огнестойкости и классами пожарной опасности, соответствующими требуемому уровню огнестойкости и классу конструктивной пожарной опасности объекта, а также с ограничением пожарной опасности поверхностных слоев (отделок, облицовок и средств огнезащиты) строительных конструкций на путях эвакуации;
- применение огнезащитных составов и строительных материалов (конструктивной огнезащиты) для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций;

Для своевременного обнаружения пожара, предотвращения травматизма рабочего персонала и посетителей, помещения здания фондохранилища оборудовано системой автоматической пожарной сигнализации (АПС) и системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ).

Оснащение проектируемого здания средствами автоматической пожарной сигнализации предусмотрено в соответствии с требованиями СП 484.1311500.2020.

Оснащение здания системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре предусмотрено в соответствии с требованиями СП 3.13130.2009.

Установками автоматического газового пожаротушения оборудованы помещения зон хранения и временного размещения в подвале, на первом, втором и третьем этажах.

Установками автоматического пожаротушения тонкораспыленной водой оборудованы помещения зон музейно-выставочных работ, реставрации, карантина и биообработки на первом и втором этажах.

Защита помещений здания автоматическими установками пожаротушения предусмотрена в соответствии с требованиями Приложения А СП 484.1311500.2020.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 484.1311500.2020 «Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты»
2. СП 3.13130.2009 «Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре»
3. СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты»
4. СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы»
5. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 № 123-ФЗ
6. Федеральный закон "Технический регламент о применении контрольно-кассовой техники при осуществлении расчетов в Российской Федерации» от 22.05.2003 № 54-ФЗ

## ФОРМИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ ДО МОМЕНТА ПОЛНОГО ОТКРЫТИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ПРОЁМОВ

**Лещёв И.В.**

*студент 4 курса 38 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Горев В.А.**

*доктор физико-математических наук, профессор кафедры КБС НИУ МГСУ*

В снижении ущерба при внутренних взрывах важную роль играют применение легкобрасываемые конструкции (далее ЛСК) и правильный расчёт конструкций на действие взрывной нагрузки. Для расчёта несущих конструкций на действие взрыва необходимо знание динамики взрывного давления, особенно на стадии срабатывания ЛСК. В [1] использовалась сильно упрощённая модельная нагрузка для внутреннего взрыва, которая формировалась в предположении, что ЛСК всегда вскрывает проём полностью в течение короткого времени. Так что давление в момент вскрытия всегда меньше давления при полностью открытом проёме. В [2-3] модельная нагрузка формируется с учётом закономерности срабатывания ЛСК на стадии роста давления, но не учитывается последующий спад и новый подъём давления. В представленной работе предпринимается попытка учесть закономерности изменения давления с учётом срабатывания ЛСК.

Для исследования динамики давления используется аппарат, развитый в [4-5]. Решается система уравнений, описывающая изменение давления; смещение ЛСК и изменение площади истечения газов через открывающиеся проёмы. Максимальная величина давления на стадии вскрытия проёмов определяется параметрами «В» с момента инициирования взрыва до момента начала истечения газов через проёмы.

$$B = \left( \Delta P_v^{5/3} V_0^{2/3} \right) / \left( U_{\Gamma}^2 P_0^{2/3} \rho_{\Pi} \chi_0 \left( \frac{4}{3} \pi \gamma (\sigma - 1) \sigma^2 \right)^{2/3} \right)$$

На стадии взрыва от начала истечения до формирования пика давления к описанию динамики давления добавляется параметр «Д». Параметр Д изменяется синхронно с параметром В, так как отличие состоит в замене  $\chi_0$  на  $\chi_1 = \frac{S_0}{\Pi}$ ; Параметр Д указывает, что до момента полного открытия проёма в сбросе давления важен периметр проёма.

Поэтому целесообразно при необходимости организовывать общую площадь  $S_0$  посредством нескольких проёмов, в результате чего возрастает периметр проёмов и площадь истечения. Параметр «Д» можно представить как:

$$D = \left(\frac{4}{3}\pi\gamma\right)^{-2/3} (\overline{S_0 W^3})^{-1}; \text{ где } \overline{W^3} = (U_r(\sigma - 1)\sigma^2\rho_n\rho_0^{1/2}) / (\Delta P_v^{3/2}\Pi);$$

В результате система для решения задачи сводится к

$$1) \frac{d\overline{p}}{d\overline{t}} = 3(1 + \Delta\overline{t})^2 - 0,203 \frac{\overline{x}(1+\Theta)^{4,5}}{\overline{W^3}} (1 + \Delta\overline{P})^{1/2} \Delta\overline{P} = 0 \text{ при } \Delta\overline{t} = 0$$

$$2) \frac{d^2\overline{x}}{d\overline{t}^2} = D(1 + \Theta)^5(1 + \Delta\overline{P}); \overline{x}(0) = 0; \frac{d\overline{x}}{d\overline{t}}(0) = \frac{D}{4} [(1 + \Theta)^5 - (1 + \Theta)]$$

Задаём  $B$ , это все равно что  $(1 + \Theta)$ , и решаем систему. Так, например, при  $B = 4$  и  $S_0 = 6.3 \overline{\Delta P}_{max} = 0.008494$ ; при  $B = 22.8$  и  $S_0 = 15.75 \overline{\Delta P}_{max} = 0.000567$ . А затем строим график зависимости  $\overline{\Delta P}_{max}$  от  $\overline{W^3}$ :



Рисунок 1 - Зависимость  $\overline{\Delta P}_{max}$  от  $\overline{W^3}$  для разных  $B$ .

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Становится возможным определять зависимость избыточного давления на первом пике от основных свойств ЛСК.
2. Прямые (1)-(6) группируются и их можно представить как указано на рис.2.

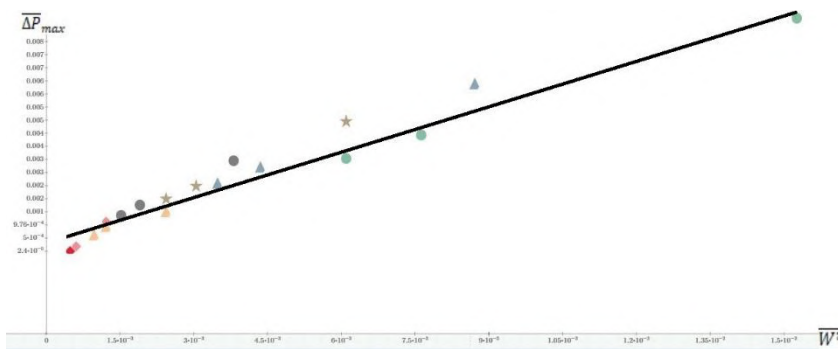


Рисунок 2 - Обобщенная линейная зависимость  $\overline{\Delta P}_{max}$  от  $\overline{W^3}$ .

3. При малых  $B (B < 4)$  зависимость имеет иной характер.

В широком диапазоне изменений условий срабатывания ЛСК определен метод вычисления максимального давления взрыва на стадии его развития. Для полного определения нагрузки необходимо в дальнейшем определить время достижения этого значения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Расторгуев Б. В., Плотников А. И., Хуснутдинов Д. З.* Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях - Москва : Издательство АСВ, 2007. - 152 с. - ISBN 978-5-93093-443-6.
2. *Горев В. А.* Модельная нагрузка при внутреннем взрыве - Пожаровзрывобезопасность Т. 30 №3. 2021.
3. *Лещёв И.В.* Деформация балочных конструкций при внутреннем взрыве на первом пике – Дни студенческой науки. Сборник докладов н-тех. конф. по итогам н-исл. работ студентов ИСА НИУ МГСУ. Москва, 2021. С. 892-895
4. *Gorev V.* Ensuring explosion safety of residential buildings International Scientific Conference Environmental Science for Construction Industry – ESCI 2018 Vol. 193 2018 №03046 P.8. DOI <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819303046>
5. *Горев В. А., Мольков В. В.* О зависимости параметров внутреннего взрыва от устройства предохранительных конструкций в проемах ограждающих стен промышленных и жилых зданий - Пожаровзрывобезопасность Т. 27 №10. 2018 с. 6-25

## ЗАВИСИМОСТЬ МАССОВОГО РАСХОДА БУТЕНА 1 ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

**Лепехова Е.А.**

*студентка 4 курса 37 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Челекова Е.Ю.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры КБС НИУ МГСУ*

Бутен - 1, который также называют бутиленом, является непредельным углеводородом. Это достаточно опасное вещество, которое имеет 4 класс опасности. Бутены широко используются для производства огромного количества веществ и материалов. Наиболее распространена практика использования бутена для производства полиэтилена.

Принят к рассмотрению шаровой резервуар, входящий в состав Иркутского завода полимеров (ИЗП) ООО «Иркутская нефтяная компания», объемом 2000 м<sup>3</sup>. Крупногабаритный шаровой резервуар является хранилищем большого объема пожаровзрывоопасного продукта, разгерметизация которого с истечением продукта в атмосферу может привести к катастрофическим последствиям. Взрывоопасность бутилена обусловлена тем, что он хранится при температуре, превосходящей температуру кипения.

В таблице 1 указаны рассматриваемые температуры, которые были приняты согласно географическому расположению (г.Иркутск) объекта исследования по [1].

**Таблица 1**

Климатические параметры холодного периода года, °С			Климатические параметры теплого периода года, °С		
-35	-12	-9,4	37	25	12,5

Бутен-1 поступает в резервуары из промпарка завода с температурой до 40°С. Условия хранения жидкого бутена-1 – давление 0,53 МПа (изб.) и температура до 40°С. Степень заполнения резервуара 0,83. В зависимости от температуры бутилена возможно истечение жидкой и/или паровой фазы.

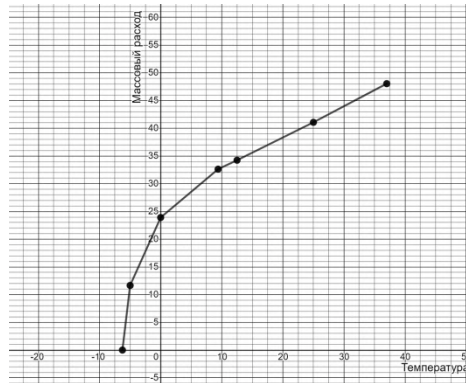
Истечение паровой фазы возможно, когда температура бутилена начинает превышать температуру его кипения. [2] В зависимости от режима истечения для выявления зависимости могут быть использованы формулы 1, 2 [3].

$$G = A_{hol} * \mu * \left[ P_v * \rho_v * \left( \frac{2 * \gamma}{\gamma - 1} \right) * \left( \frac{P_a}{P_v} \right)^{\frac{2}{\gamma}} * \left\{ 1 - \left( \frac{P_a}{P_v} \right)^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma}} \right\} \right]^{0,5} \quad (1)$$

$$G = A_{hol} * \mu * \left[ P_v * \rho_v * \gamma * \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}} \right]^{0,5} \quad (2)$$

Где  $A_{hol}$  – площадь отверстия,  $\mu$  – коэффициент истечения,  $P_v$  – давление газа в резервуаре,  $\rho_v$  – плотность газа в резервуаре,  $\gamma$  – показатель адиабаты газа,  $P_a$  – атмосферное давление.

На рисунке 1 представлен график изменения массового расхода истечения газовой фазы, при увеличении температуры.



**Рисунок 1** - График зависимости массового расхода от температуры.

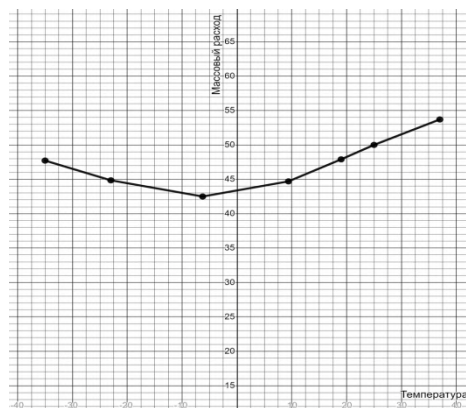
Истечение жидкой фазы возможно, как и при температуре меньше температуры кипения, так и превосходящей температуру кипения. Для выявления данной зависимости была использована формула 4 [3] с учетом того, что площадь сечения резервуара изменяется во времени.

$$G_0 = A_{hol} * \mu * \rho * \sqrt{2 * g * (h_o - h_{hol})} \quad (3)$$

$$G(t) = G_0 - \frac{\rho * g * \mu^2 * A_{hol}^2}{A_R} * t \quad (4)$$

Где  $\rho$  – плотность жидкости,  $A_R$  – площадь сечения резервуара.

На рисунке 2 представлен график изменения массового расхода истечения жидкой фазы при увеличении температуры.



**Рисунок 2** - График зависимости массового расхода от температуры.



На основе приведенных расчётов можно сделать следующие выводы:

- При  $T < T_{\text{кип}}$  происходит истечение жидкой фазы, где массовый расход зависит от температуры, давления столба жидкости и площади поперечного сечения резервуара.
- При  $T > T_{\text{кип}}$  происходит истечение как жидкой, так и паровой фазы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 131.13330.2020. Свод правил. Строительная климатология
2. *Ред. коллегия: В.А. Каргин и др.* Энциклопедия Полимеров. Т.1 - М., "Советская Энциклопедия", 1972. С. 350
3. Приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 «Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах».
4. *Якуш С.Е.* Расчёт ударных волн при взрыве резервуара высокого давления со сжиженным газом. Журнал «Физика горения и взрыва» Том 56, № 4, 2020г.

# ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЛЮДСКОГО ПОТОКА НА РАЗМЕРЫ ПУТЕЙ ЭВАКУАЦИИ В АЭРОПОРТУ

Михалёва Д.Г.

студентка 4 курса 38 группы ИГЭС

Научный консультант: Парфёненко А.П.

кандидат технических наук, доцент кафедры КБС НИУ МГСУ

Обеспечение безопасности людей на объектах с их массовым пребыванием невозможно без учета ключевых особенностей влияния состава людского потока на размеры путей эвакуации, так как, именно состав потока определяет главные параметры необходимые для расчета и обеспечения безопасной эвакуации.

При этом эвакуация считается безопасной при обеспечении ее своевременности и беспрепятственности. Осуществление данных критериев возможно только при соответствии эвакуационных путей объекта нормативным требованиям. При этом эвакуационный путь, должен учитывать все особенности объекта и обеспечивать свободное перемещение каждого человека в безопасные зоны [1].

В качестве объекта исследования был рассмотрен объект, где ситуация с составом потока приобретает наиболее неоднозначный характер, а именно, это аэропорты. В настоящее время роль авиасообщения набирает все большую значимость, и уже достигнуты рекордные цифры пассажиропотока. К примеру, в Москве за 2019 год было перевезено около 103 миллионов пассажиров.



**Рисунок 1** - Динамика увеличения пассажиропотока в аэропортах (Ф3.3) за период 1980-2019 годы

На фоне данных колоссальных цифр, встает вопрос о повышенном внимании к обеспечению безопасности в аэропортах и в первую очередь, это обеспечение пожарной безопасности.

К сожалению, существующие нормы проектирования предъявляют лишь общестроительные требования. Требования пожарной безопасности к аэровокзалам, прописаны в несколько строк и не отражают всей специфики функционального назначения. Так в СП 1.13130.2020 все нормирование ограничено одним пунктом. Общие данные по составу людского потока регламентируются СП 1.13130.2020. Есть расчетное количество людей групп М2-М4. Однако специализированных данных для М1 нет [2].

Понимая острую необходимость в заполнение образовавшихся пробелов, перед исследованием была поставлена главная цель – отразить влияние состава людского потока на размеры путей эвакуации, а также последующее получение данных для достоверного определения времени эвакуации и обеспечения безопасности людей в аэропортах.

Итак, согласно методике, N 382, на формирование вероятности безопасной эвакуации влияние имеют следующие параметры [3]:

$$P_э = \begin{cases} 0,999 * \frac{0,8 * t_{бл} - t_p}{t_{нэ}}, & \text{если } t_p < 0,8 * t_{бл} < t_p + t_{нэ} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{нэ} \leq 0,8 * t_{бл} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8 * t_{бл} \text{ или } t_{ск} > 6 \text{ мин} \end{cases}$$

В рамках данного исследования особый интерес имеет расчетное время  $t_p$ , так как его вычисление напрямую связано со скоростью движения людского потока по путям эвакуации, обусловленной параметрами движения людей различных групп мобильности, а также значением площадей горизонтальных проекций различных контингентов людей.

Фактически, нормами декларируется однородность состава основного функционального контингента в зданиях различного назначения. Так, в методике выделены некоторые группы людей, представлены параметры их движения и площади горизонтальных проекций.

Однако, опираясь на статистические данные, становятся очевидным, что параметры, полученные для объекта с одним функциональным назначением, нельзя применять для другого, так состав людского потока может сильно отличаться на различных объектах как по группам мобильности, так и по возрасту.

Для управления временем эвакуации и предотвращением ситуаций с возникновением давки возможно изменение размеров путей эвакуации. Так, с увеличением ширины эвакуационного пути, увеличивается и его пропускная способность. Это приводит к уменьшению плотности людского потока, и в итоге беспрепятственной и своевременной эвакуации.

Как итог, отразить влияние состава людского потока на пути эвакуации возможно следующим образом. Изменение состава людского потока несет за собой изменение основных параметров: скорость и площадь горизонтальной проекций.

Сложности, связанные с отсутствием данных по составу людского потока в аэропорту, не позволяют смоделировать ситуацию, максимально приближенную к реальным условиям. Полученные результаты не учитывают специфических характеристик пребывающих там людей и многих конструктивно-технологических особенностей. Отсюда и возникает высокая опасность массовой гибели людей при возникновении пожара.

Для продолжения исследования необходима разработка методики по определению состава людского потока в аэропорту и проведение натурных наблюдений. Полученные данные станут основой для дальнейшего нормирования и обеспечения пожарной безопасности в аэропорту.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 года N 123 ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
2. СП от 19.03.2020 г. № СП 1.13130.2020. "Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы"
3. Приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 «Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности»

## ЗОНЫ ВЗРЫВООПАСНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИ СЛИВНЫХ ОПЕРАЦИЯХ НА СЛИВОНАЛИВНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЭСТАКАДАХ

**Никитина М.А.**

*студентка 4 курса 38 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Батманов С.В.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры КБС НИУ МГСУ*

Сливо-наливные эстакады (далее - СНЭ) - сооружение у специальных железнодорожных путей, оборудованное сливоналивными устройствами, обеспечивающее выполнение операций по сливу нефти и нефтепродуктов из железнодорожных цистерн и/или их наливу.[1]

Для приема нефтепродуктов применяется устройство нижнего слива (далее - УСН), который представляет собой металлический трубопровод с шарнирными элементами.

Для слива нефтепродуктов из железнодорожной цистерны оператор открывает нижнюю часть сливного прибора цистерны и присоединяет установку, затем открывает задвижку на коллекторе эстакады. Затем оператор открывает люк цистерны и клапан сливного прибора.

Принцип действия УСН позволяет производить слив может осуществляться самотеком или насосом.

Время опорожнения железнодорожной цистерны при сливе самотеком вычисляется по формуле 1:

$$t = \frac{4LD\sqrt{D}}{3\mu S\sqrt{2g}} \quad (1)$$

Где  $L$  – длина цистерны;  $D$ - диаметр цистерны;  $\mu S$  -эффективное сечение отверстия слива.

Принята к рассмотрению эстакада галерейного типа, которая не оборудована системой улавливания паров. Поэтому, операции по вскрытию железнодорожных цистерн, заполненных нефтепродуктами, которые проводят перед началом слива, сопровождаются выбросами ПВС в окружающую среду. Формируется зона загазованности снаружи цистерны, которая влияет на расстояние до места установки электрооборудования без взрывозащиты. [2]

В течение суток при воздействии солнечной радиации изменение температуры окружающего воздуха, металлической оболочки, ограничивающей газовое пространство

резервуара, и температуры поверхностного слоя легковоспламеняющейся жидкости (далее – ЛВЖ) в цистерне подчиняется синусоидальному закону.

В таблице 1 указаны максимальные температуры поверхностного слоя ЛВЖ в цистерне при абсолютной максимальной температуре воздуха.

**Таблица 1.**

№	Город	$t_{max}, ^\circ C$	$N_{с. Дн}$	$t_{п.сл-max}, ^\circ C$
1	2	3	4	6
1.	Орел	40	17	60,05
2.	Воронеж	41	18	60,97
3.	Саратов	41	20	60,98
4.	Волгоград	43	19	63,69
5.	Астрахань	41	25	62,2

Для описания температуры поверхностного слоя ЛВЖ в Цистерне при воздействии на него солнечной радиации может быть использовано уравнение 2:

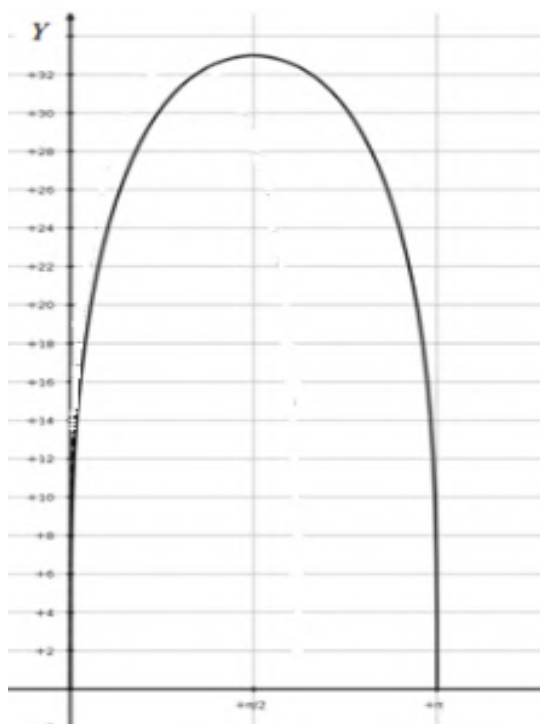
$$t_{п.сл} = (t_{п.сл-max} - t_{ж}) \sin \frac{\pi \tau_c}{\tau_{дн}} + t_{ж} \quad (2)$$

Где  $t_{п.сл}$  – текущая температура поверхностного слоя ЛВЖ;  $t_{п.сл-max}$  – максимальная температура поверхностного слоя ЛВЖ;  $t_{ж}$  – температура основной массы ЛВЖ;  $\tau_c$  – продолжительность теплового воздействия солнечной радиации от момента восхода солнца;  $\tau_{дн}$  – общая продолжительность теплового воздействия солнечной радиации (продолжительность светового дня).

Методика оценки пожарной опасности технологического процесса учитывает, что на  $t_{п.сл-max}$  – максимальную температуру поверхностного слоя ЛВЖ в разных городах влияет:  $N_{с.дн.}$  – число безоблачных дней в июле и  $t_{max}$  – абсолютная максимальная температура воздуха. После захода солнца температура поверхностного слоя стремится к температуре основной массы ЛВЖ в цистерне, которая принимается равной среднемесячной температуре воздуха в регионе. [3]

Во время сливных операций потери нефтепродукта обусловлены испарением. Методика расчета массы паров учитывает испарение с определенной поверхности при сливе нефтепродукта из цистерны. На рисунке 1 представлен график, на котором отображается динамика изменения площади прямоугольника зеркала жидкости, от времени слива. Данная зависимость получена для резервуара в виде горизонтально расположенного цилиндра

(цистерны), в котором площадь свободной поверхности жидкости меняется во время операции слива.[4]



**Рисунок 1** - График зависимости площади поверхности от времени сливной операции.

Для размещения электрооборудования не взрывозащищенного необходимо рассчитать максимальные размеры взрывоопасных зон, которые определены в методике, утвержденной приказом МЧС России № 404. [5] Расчетная формула 3 максимального размера взрывоопасной зоны (радиус взрывоопасной зоны (м)), которая ограничена нижним концентрационным пределом распространения пламени:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \left( \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33} \quad (3)$$

При размещении электрооборудования не взрывозащищенного на железнодорожных эстакадах, не оборудованных системами улавливания паров нефтепродуктов, необходимо учитывать радиус взрывоопасной зоны  $R_{\text{НКПР}}$ , который будет изменяться в зависимости от региона размещения железнодорожной эстакады для приема нефтепродуктов из железнодорожных цистерн.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 155.13130.2014. Свод правил. Склады нефти и нефтепродуктов.
2. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами / О.М. Волков. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010. – 398 с.+ вкл.

3. Сучков В.П. Методы оценки пожарной опасности технологических процессов: Практикум: Учебно-методическое пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2010.
4. А.А. Кирсанов, В.В. Сеницын, В.В. Татаринов. О динамике площади испарения нефтепродуктов при заправке крупнотоннажных ёмкостей. Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности" (<http://ipb.mos.ru/ttb>) Выпуск № 4 (68), 2016 г.
5. Приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 «Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах».



# ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЙ АЭРОВОКЗАЛОВ

**Ускова В.Е.**

*студентка 4 курса 38 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Парфёненко А.П.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры КБС НИУ МГСУ*

Воздушный транспорт – это один из самых динамично развивающихся видов пассажирского транспорта в России. В общем пассажирообороте воздушный транспорт выполняет 54 % всех перевозок пассажиров (по данным Росстата на 30.11.20221) [1]

Основу наземной инфраструктуры воздушного транспорта составляют аэропорты. Аэропорт – это комплекс сооружений, включающий в себя аэродром, аэровокзал, другие сооружения, предназначенный для приема и отправки воздушных судов, обслуживания воздушных перевозок и имеющий для этих целей необходимое оборудование. [2]

Особое внимание стоит уделить аэровокзалам как общественным местам с массовым скоплением людей. По требованиям Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» каждое здание должно иметь объемно-планировочные решения и конструктивное исполнение эвакуационных путей, обеспечивающее безопасную эвакуацию людей при пожаре [3]. Для подтверждения обеспечения пожарной безопасности одним из требований является проведение расчета пожарного риска. В соответствии с приказом МЧС России № 382 «Об утверждении Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» определение расчетных величин пожарного риска заключается в расчете индивидуального пожарного риска для людей, находящихся в здании. Численным выражением индивидуального пожарного риска является частота воздействия опасных факторов пожара (далее - ОФП) на человека, находящегося в здании.

Эвакуация будет являться безопасной если выполняются 2 требования [4]:

1) Своевременность - время эвакуации не должно превышать значение равное 80% времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара

2) Беспрепятственность - плотность людского потока на путях эвакуации не превышает значение  $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$

Индивидуальный пожарный риск отвечает требуемому, если его расчетная величина не превышает нормативное значение 1 миллионная в год.

Значение величины индивидуального пожарного риска зависит от наличия и состояния систем противопожарной защиты, от времени пребывания людей в здании, а также вероятности их эвакуации из здания. Если два первых параметра являются заданными, то вероятность эвакуации из здания неизвестна и зависит от времени эвакуации.

Время эвакуации включает в себя:

1) время начала эвакуации, зависящее от функционального назначения объекта и характеристик системы оповещения и управления эвакуацией

2) расчетное время эвакуации, являющееся суммой всех временных интервалов, затраченных на преодоление участков пути эвакуации.

Каждый участок рассчитывается как отношение длины пройденного участка к скорости движения при плотности людского потока на этом участке. Здесь возникает вопрос какую плотность людского потока требуется взять на начальном этапе расчета.

По СП 478.1325800.2019 «Здания и комплексы аэровокзальные. Правила проектирования» аэровокзалы рассматриваются как объекты класса функциональной пожарной опасности Ф3.3 – вокзалы, и подлежат зоне контроля основных нормативных документов по пожарной безопасности [5]. СП1.13130.2020 содержит нормативные расчетные площади для многих объектов разного класса функциональной пожарной опасности. (в качестве примера некоторые приведены на слайде) [6]. Проанализировав нормативные документы, мы обнаруживаем отсутствие нормы. На основании этого мы можем сделать вывод о невозможности проведения достоверного расчета индивидуального пожарного риска для зданий аэровокзалов.

В Заключении хочется отметить недостаточность нормативных требований в области пожарной безопасности.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Основные показатели транспортной деятельности в России. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]: официальный сайт. – Режим доступа: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Publ\\_TR\\_2021.docx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Publ_TR_2021.docx)

2. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 № 60-ФЗ (с изм. и доп. от 14.08.2018) // Российская газета. – 1997. – 98 с.

3. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ

4. Приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. N 382 "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности"

5. СП 478.1325800.2019 «Здания и комплексы аэровокзальные. Правила проектирования.

6. СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы»

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ОБЩЕЖИТИЯХ

**Чикунова А.Д.**

*студентка 4 курса 37 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Медяник М.В.**

*старший преподаватель кафедры КБС НИУ МГСУ*

Большое внимание в современном мире уделяется пожарам и методам их ликвидации. Рассматриваемый проектируемый объект относится к классу функциональной пожарной опасности Ф 1.2. Согласно статистическим данным ГУ МЧС, пожары данного класса функциональной пожарной опасности ежегодно наносят значительный ущерб экономике и здоровью граждан.

**Таблица 1.**

Сведения о пожарах и их последствиях класса функциональной пожарной опасности  
Ф 1.2.

Класс функциональной пожарной опасности зданий	Кол-во пожаров, ед.	Погибло людей, чел.	Травмировано людей, чел.	Прямой ущерб, руб.
Ф1.2 - гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев	276	12	13	24 942 403

Для минимизации негативных последствий и предупреждения возникновения и развития пожаров необходимо соблюдение всех необходимых мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, изложенных в нормативно-технической документации, комплексный подход к решению поставленной задачи на стадии проектирования общежитий.

Проектная документация выполнена на основании технического задания на выполнение работ по объекту «Общежитие на 400 мест г. Новый Уренгой», площадь участка - 10148 м<sup>2</sup>, Здание состоит из трех блоков, соединенных в Г-образной форме.

Пожарная безопасность объекта обеспечивается объемно-планировочными и конструктивными решениями, системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

[1] Объемно - планировочные решения проектируемого здания класса функциональной пожарной опасности Ф 1.2 предусматривают размещение в 3-х блоках помещений основного назначения, а также помещений различных классов функциональной пожарной опасности.

**Таблица 2.**

Помещений различных классов функциональной пожарной опасности объекта

Наименование помещения	Класс функциональной пожарной опасности
Подсобное помещение	Ф 5.2
Медицинский кабинет	Ф 3.4
Приемная	Ф 3.4
Кладовые белья	Ф 5.2
Тренажерный зал	Ф.3.6

Объемно-планировочные и конструктивные решения, обеспечивающие пожарную безопасность здания, осуществляются за счет ограничения площади, а также созданием условия для ограничения распространения пожара. Класс конструктивной пожарной опасности объекта – С1.

[2] Обеспечение безопасной эвакуации людей в случае пожара, осуществляется за счет ограничения воздействия опасных факторов пожара,

- разделения помещений противопожарными преградами,
- снижения опасности строительных и отделочных материалов, применяемых на путях эвакуации,
- наличия достаточного количества эвакуационных путей и выходов, использования систем противопожарной защиты.

[3] Система противопожарной защиты - совокупность организационных мероприятий и технических средств, направленных на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничение материального ущерба от него.

[2] Проектируемое здание оборудуется следующими системами противопожарной защиты:

- автоматическими установками пожарной сигнализации адресно-аналогового типа
- системой противодымной защиты;
- аварийным и эвакуационным освещением;
- системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре

-наружным противопожарным водопроводом;

Комплекс мероприятий противопожарной безопасности должен обеспечивать:

-возможность эвакуации людей наружу, эвакуации маломобильных групп населения в пожаробезопасную зону, до наступления угрозы их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара;

-надежную противопожарную защиту имущества граждан и организаций, и здания в целом,

-эффективность действий пожарных подразделений по тушению и проведению пожарно-спасательных работ.

Таким образом, система обеспечения пожарной безопасности проектируемого объекта общежития должна отвечать всем заявленным требованиям нормативно-технической документации – в этом случае проектируемое здание общежития сможет в полной мере обеспечивать безопасное пребывание людей.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Федеральный закон №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». - 2008

2. Свод правил СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. - 2020

3. Свод правил СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. - 2021

**СЕКЦИЯ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

# ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОВЕРКЕ КВАЛИФИКАЦИИ ПУТЕМ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

**Веретенникова А.Э.**

*студентка 4 курса 34 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Мухамеджанова О.Г.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры КБС НИУ МГСУ*

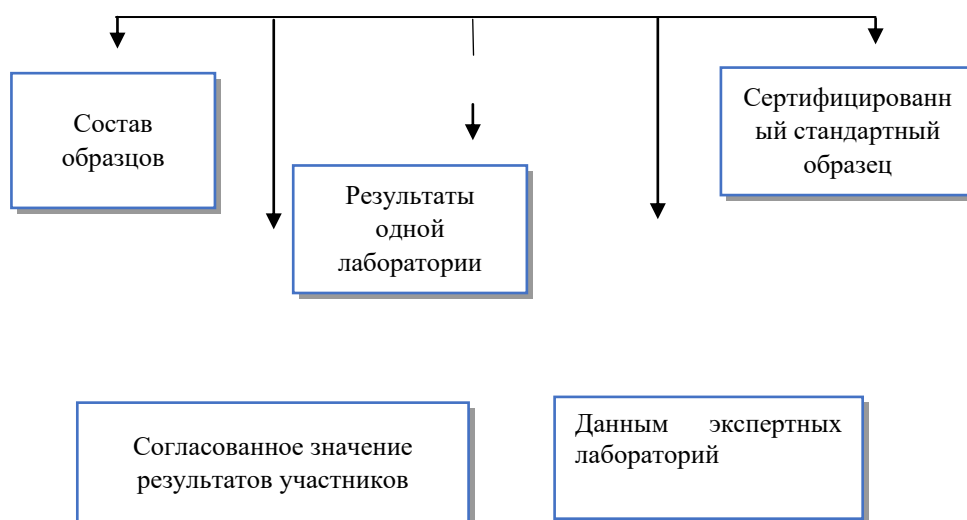
Одним из критериев аккредитации является участие лабораторий в межлабораторных сравнительных испытаниях, что позволяет проверить и оценить квалификацию лаборатории по получению достоверных и точных результатов. [1-2] Поэтому исследования по оценке квалификации участников межлабораторных сравнительных испытаний (МСИ) является актуальной задачей. Целью данной работы является анализ методов определения приписанного значения при проведении межлабораторных сравнительных испытаний. В соответствии с целью были поставлены следующие задачи: проанализировать методики определения приписанного значения; применение методик определения приписанного значения при оценке квалификации участников при проведении межлабораторных сравнительных испытаний.

Межлабораторные сравнительные испытания проводятся в соответствии с ГОСТ Р 50779.60-2017 (ИСО 13528:2015) и представляют собой сравнительный анализ результатов измерений образцов продукции, полученных двумя или более лабораториями, с выводами по прецензионности лабораторных исследований. Данный анализ осуществляется в разных испытательных лабораториях, в разных условиях, разными испытателями, на разном оборудовании. Для проверки и оценки квалификации испытательной лаборатории при МСИ необходимо определять приписанное значение. В соответствии с терминологией приписанное значение - это значение, приписываемое конкретному свойству образца для проверки квалификации.

Приписанное значение определяется следующими методами: по составу образцов, по результатам одной лаборатории, по сертифицированному стандартному образцу, по согласованному значению результатов участников лабораторий, а также по данным экспертных лабораторий (рис.1).



## Определение приписанного значения при проверке МСИ



**Рисунок 1** - Методы определения приписанного значения

Метод определения приписанного значения с помощью сертифицированного стандартного образца заключается в том, что в качестве приписанного значения выступает сертифицированный стандартный образец. Результаты, полученные при испытаниях стандартного образца в разных лабораториях сравниваются с результатом, прописанным в сертификате на стандартный образец.

Недостатками такого метода являются:

- большая потребность в средствах для обеспечения каждого участника МСИ сертифицированным стандартным образцом;
- обеспечение конфиденциальности истинных характеристик стандартных образцов.

Преимущества данного метода:

- сертификат включает в себя полную информацию об используемом образце;
- при обеспечении условий и правильности хранения, образцы сохраняют свою долговечность и стабильность.

Метод определения приписанного значения с помощью состава образца. Суть данного подхода заключается в том, что, используемый материал изготавливается путем смешивания компонентов в определенных пропорциях или путем добавления определенного количества вещества к основному материалу. Приписанное значение выводится и рассчитывается на основе веса используемых материалов. Метод актуален в случае, когда устанавливаются определенные требования к образцам и пропорции всех компонентов известны. Метод распространяется на бетонные, клеевые и другие растворы.

Третьим методом является определение приписанного значения с применением результатов одной лаборатории. При использовании данного метода приписанное значение определяется путем использования эталонного метода (например, описанного в национальном стандарте России) и при помощи лабораторных референтных измерений.

Определение приписанного значения на основе согласованного значения по данным экспертных лабораторий заключается на том, чтобы приписанное значение определялось при помощи привлечения экспертных лабораторий. Для каждой лаборатории участника готовят образцы. Каждый образец анализируют эксперты и устанавливают в протоколе все необходимые условия. Каждая референс-лаборатория должна предоставлять стандартную неопределенность своих результатов.[3-4]

Метод определения приписанного значения на основе согласованного значения результатов участников. В этом методе приписанное значение является средним значением результатов всех участников проверки. Данный показатель вычисляется при помощи алгоритма и применяется в том случае, если метод стандартизован.

Главным преимуществом данного метода:

- для получения приписанного значения никаких дополнительных измерений не требуется;
- подход может быть особенно полезен для стандартизованной, оперативно определяемой измеряемой величины, так как часто нет более надежного способа получения равноценных результатов.

Исходя из выше сказанного можно сказать что, анализ методик определения приписанного значения показал преимущества и недостатки каждой из методики, а также применение методик исследования при оценки квалификации участников межлабораторных сравнительных испытаний.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Владельщикова Д.А., Мухамеджанова О.Г.* Разработка процедуры внешнего контроля испытательной лаборатории//Сборник материалов семинара молодых ученых Международной научной конференции «Строительство - формирование среды жизнедеятельности», ( г. Москва, 22-24 апреля 2021), с.71-75.

2. *Куванов В.А., Мухамеджанова О.Г.* Точностные характеристики и порядок аттестации камеры коррозионных газов и карбонизации//Сборник материалов семинара молодых ученых Международной научной конференции «Строительство- формирование среды жизнедеятельности», ( г. Москва, 22-24 апреля 2021), с.92-96.

3. *Мухамеджанова О.Г., Демидов Д.Г., Рекус И.Г., Комарова Л.Ю.* Методика расчета неопределенности прочности на растяжение при изгибе бетонных призм // Ж. Известия тульского государственного университета, 2021. № 2.с.542-547.

4. *Мухамеджанова О.Г., Боровкова А.Е.* Расчет неопределенности измерений прочности на сжатие бетонных кубиков // Ж. Естественные и технические науки, 2021. № 5.с.184-185.

5. *Пономарева О.Б.* Проведение межлабораторных сравнительных испытаний в рамках целевых проверок деятельности испытательных лабораторий при государственном метрологическом надзоре // Уральский НИИ метрологии, 2000. Т.4, № 4.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

**Владельщикова Д.А.**

*студентка 4 курса 34 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Мухамеджанова О.Г.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры КБС НИУ МГСУ*

К одному из требований к компетентности ГОСТ ИСО/МЭК 17025–2009 относится обеспечение достоверности результатов, которое осуществляется посредством контроля качества в испытательной лаборатории, поэтому данная работа актуальна.

Цель работы: Разработать процедуру внутреннего контроля качества в испытательной лаборатории ИКБС.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

- проанализировать нормативную документацию по контролю качества испытательных лабораторий;

- составить алгоритмы проведения внутреннего контроля в испытательной лаборатории ИЛ ИКБС.

Данная работа выполнялась в Испытательной лаборатории ИКБС.

Цель внутреннего контроля качества - получить результаты, которые будут обеспечивать требуемую точность и достоверность результатов измерений (испытаний), в ходе чего лаборатория сможет подтвердить свою техническую компетентность экспериментальным путём, а также заручиться доверием к результатам испытаний со стороны заказчика.

Контроль качества состоит из внутреннего и внешнего контроля. Внутренний контроль включает в себя: оперативный контроль процедуры анализа и контроль стабильности результатов. К внешнему контролю – проведение проверки квалификации путем межлабораторных сличительных испытаний.[1]

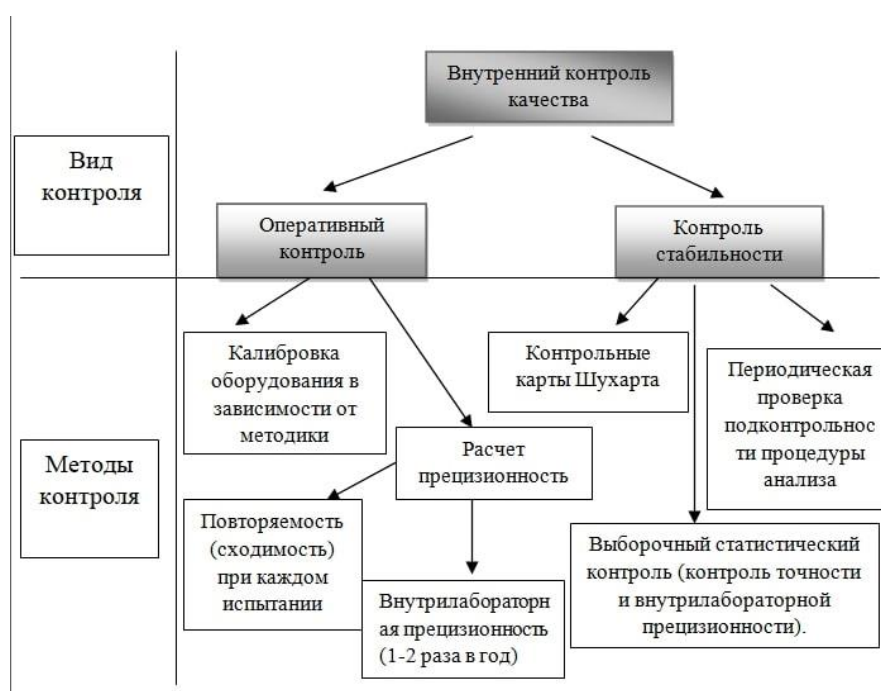
Оперативный контроль состоит из калибровки оборудования в зависимости от методики и расчета прецизионности (рис.1).

Калибровка оборудования проводится при каждом испытании или раз в определенный промежуток времени, и это зависит от метода испытаний, испытательного оборудования, условий окружающей среды. К примеру, при испытании на дымообразующую способность по ГОСТ 12.1.044-89 п. 4.18 калибровку установки осуществляется перед каждым испытанием с использованием образца с установленными показателями. В качестве

такого образца используется смесь дибутилфталата с кварцевым песком, нормированное значение коэффициента дымообразования для режима тления составляет  $D_m = 360 \pm 20 \text{ м}^2\text{кг}^{-1}$ , для режима горения  $D_m = 120 \pm 8 \text{ м}^2\text{кг}^{-1}$ . Расчетный коэффициент дымообразования, полученный на данном образце составляет  $D_m = 367 \text{ м}^2\text{кг}^{-1}$ , для режима горения  $D_m = 122 \text{ м}^2\text{кг}^{-1}$ . Расчетные показатели для режима горения и тления находятся в пределах допустимой нормы, следовательно, данная установка прошла калибровку и точно, достоверно воспроизводит режим пожара. В случае отклонения от расчетных проводят повторную калибровку. [2]

К расчету прецизионности результатов в испытательной лаборатории относится повторяемость (сходимость) и внутрилабораторная прецизионность.[3-5]

Оперативный контроль прецизионности в условиях повторяемости проводится при каждом испытании (согласно НД на методы испытаний). Контроль повторяемости результатов проводится не менее, чем по двум параллельным результатам одного и того же образца, полученным в одинаковых условиях одним исполнителем. Например, при испытании на токсичность строительных материалов по ГОСТ 12.1.044-89 п. 4.20 сходимость метода при доверительной вероятности 95% не должна превышать по выходу СО (мг·г) 15%.



**Рисунок 1** - Проведение внутреннего контроля качества в ИЛ

При определении показателя токсичности текстильного материала определялся выход СО на трех образцах, повторяемость по выходу СО составила 9%, что находится в пределах допустимой нормы. В случае отклонения от расчетных проводят повторные испытания.

Контроль внутрилабораторной прецизионности по каждой методике испытаний проводится один раз не одним и том же образце, в одной лаборатории, но разными испытателями, в разное время. После испытаний засчитывается внутрилабораторная прецизионность результатов, полученных от нескольких испытателей.

Контроль стабильности результатов производится одним из трёх методов: построение контрольных карт Шухарта (контроль точности, внутрилабораторной прецизионности, контроль повторяемости); периодическая проверка подконтрольности процедуры анализа; выборочный статистический контроль (контроль точности и внутрилабораторной прецизионности).

Таким образом, в результате работы разработана схема проведения внутреннего контроля качества в испытательной лаборатории с наглядными примерами.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Владельщикова Д.А., Мухамеджанова О.Г.* Разработка процедуры внешнего контроля испытательной лаборатории//Сборник материалов семинара молодых ученых Международной научной конференции «Строительство- формирование среды жизнедеятельности», (г.Москва, 22-24 апреля 2021), с.71-75.
2. *Куванов В.А., Мухамеджанова О.Г.* Точностные характеристики и порядок аттестации камеры коррозионных газов и карбонизации//Сборник материалов семинара молодых ученых Международной научной конференции «Строительство- формирование среды жизнедеятельности», (г. Москва, 22-24 апреля 2021), с.92-96.
3. *Мухамеджанова О.Г., Демидов Д.Г., Рекус И.Г., Комарова Л.Ю.* Методика расчета неопределенности прочности на растяжение при изгибе бетонных призм// Ж. Известия тульского государственного университета, 2021. № 2.с.542-547.
4. *Мухамеджанова О.Г., Боровкова А.Е.* Расчет неопределенности измерений прочности на сжатие бетонных кубиков // Ж. Естественные и технические науки, 2021. № 5.с.184-185.
5. *Ковалева С.А., Соннова А.Д., Покровская Е.Н.* Огнезащита текстильных материалов// Дни студенческой науки [Электронный ресурс]: сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры (г. Москва, 4–7 марта 2019 г.) /с.625-627.

## **СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ВЫБОР НОМЕНКЛАТУРЫ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Леонова А.С.**

*студентка 2 курса 34 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Виноградова Н.А.**

*кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры КБС НИУ МГСУ*

Строительство зданий и сооружений с каждым годом возрастает. Однако для того, чтобы значительно продлить их срок службы и повысить качественные характеристики, необходимо обеспечить защиту строительных конструкций от воздействия влаги.

Защита зданий и помещений от попадания сырости и влаги— один из сложных и важных этапов строительства. Если во время строительных работ пренебречь средствами гидроизоляции, сыреют стены, фундамент, а, в дальнейшем появится плесень. Решением этой проблемы являются гидроизоляционные материалы.

Целью работы является систематизация и выбор номенклатуры **ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА (ОПК)** гидроизоляционных материалов, применяемых в строительстве.

Объектами исследования являются свойства и показатели качества гидроизоляционных материалов.

Тема работы является актуальной. Гидроизоляция производится на всех этапах строительства, начиная с заливки фундамента и заканчивая отделочными работами. Для каждого из элементов конструкции подбирается свой тип материала. Чтобы выполнять свои функции и служить долгое время, гидроизоляционные материалы должны отвечать определенным требованиям. Однако нужно определить какие показатели качества являются важными для потребителя при выборе товаров данного назначения.

Для этого необходимо рассмотреть, что такое гидроизоляционные материалы и способы его использования.

Гидроизоляционные материалы — это материалы, предназначенные для защиты, гидроизоляции строительных конструкций, зданий и сооружений от вредного воздействия омывающей или фильтрующей воды и химически агрессивных жидкостей, таких как растворители, кислоты, щелочи, нефтепродукты и прочее, и так же для строительных, ремонтных и ремонтно-восстановительных работ. Основными требованиями,

предъявляемыми к гидроизоляционным материалам, являются полная водонепроницаемость, долговечность, базирующаяся на гнилостойкости и коррозионной стойкости, прочность на разрыв, а также технологичность и экономичность.

К основным областям использования материалов для гидроизоляции относятся:

- обеспечение водонепроницаемости подземных и наземных конструкций;
- гидро,- и ветро защита крыш и полов, фундаментов и подвалов;
- гидроизоляция промышленных и строительных объектов;
- обеспечение водонепроницаемости гидротехнических объектов;
- гидрозащита водохранилищ, плотин, бассейнов.

Качество гидроизоляционных материалов, применяемых в сфере строительства, зависит от большого числа различных показателей. Для целенаправленного улучшения качества данных материалов представляет научный и практический интерес анализ взаимосвязи их показателей и выбор тех, которые следует использовать при оценке качества гидроизоляционных материалов.

В данной работе был проведен анализ нормативно-технической документации, которая распространяется на гидроизоляционные материалы. В ходе проведения данного анализа было установлено, что действующего стандарта, который содержит номенклатуру показателей качества гидроизоляционных материалов, применяемых в строительстве, не существует. Поэтому в работе была проведена систематизация показателей качества и выбор номенклатуры ОПК гидроизоляционных материалов.

Из нормативно-технической документации были отобраны и структурированы показатели качества гидроизоляционных материалов. Систематизация показателей качества была проведена в соответствии с ГОСТ 4.200 «Система показателей качества продукции. Строительство. Основные положения».

При оценивании качества продукции важно обоснованно провести выбор показателей качества. Показатели, по которым оценивают качество продукции, называются определяющими. Выбор определяющих показателей качества сводится к нахождению коэффициентов весомости отдельных показателей в общей оценке качества продукции. Коэффициенты весомости показателей качества определяют экспертным методом. Для этого формируют экспертную группу и проводят ранжирование показателей. В работе, экспертный опрос был проведен среди специалистов данной области.

Экспертный опрос был проведен в два этапа. Сначала специалистам было предложено отобрать показатели качества гидроизоляционных материалов, которые на их взгляд более значимые. По данным показателям был проведен выбор номенклатуры ОПК.



По результатам экспертного опроса наиболее значимыми показателями качества стали:  $x_1$  – толщина полотна;  $x_2$  - отношение массы пропиточного состава к массе абсолютно сухой основы;  $x_3$  – масса вяжущего;  $x_4$  - масса основы при стандартной влажности;  $x_7$  - температура размягчения пропиточного состава;  $x_8$  - температура размягчения вяжущего.

Именно эти показатели качества определяют назначение продукции, условия ее производства и использования, т.е. составляют потребительские свойства гидроизоляционных материалов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плеханова С.В., Виноградова Н.А. Экспертиза качества наноматериалов при разработке и применении оборотных ресурсов в строительстве// Строительные материалы и изделия – 2021 Том 4 № 6. С. 48-68. DOI: 10.34031/2618-7183-2021-4-6-48-68.

2. N A Vinogradova and S V Plekhanova. Quality assurance in the design of heating systems in green building// Journal of Physics: Conference Series, Volume 1926, Innovations and Technologies in Construction (BUILDINTECH BIT 2021) 9 th - 10th March 2021, Belgorod, Russia.

3. Vinogradova N.A., Plekhanova S.V. Analysis of the requirements of normative and technical documentation for piling equipment// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 911 (2020) 012021 doi: 10.1088/1757-899X/911/1/012021.

4. Пурьнов И.С., Кирюхин С.М., Плеханова С.В., Виноградова Н.А. Количество и качество экспертов при выборе определяющих показателей инновационных материалов // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020) – 2020. С. 36-38.

5. Кирюхин С.М. Качество и спрос // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. - 2007. №5. С. 95-97.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В ООО «СТРОЙСЕРВИС»

**Липилина К. .В.**

*студентка 2 курса 34 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Лисиенкова Л. Н.**

*доктор технических наук, профессор кафедры КБС НИУ МГСУ*

В современном обществе практически во всех крупных компаниях активно используется описание бизнес-процессов, и на базе этого разрабатываются и утверждаются нормативные документы. Но не всегда эффект каждого регламента применяется в практике. Вся проблема заключается в том, что при внедрении отсутствует комплексный подход.

Система стандартизации бизнес-процессов (ССБП) - это подход к систематизации деятельности компании с целью поддержания стандартов и регламентов в актуальном состоянии.

Система стандартизации бизнес-процессов (ССБП) — это комплекс методов, процессов, ресурсов и инструментов, который обеспечивает разработку, ввод в действие, контроль исполнения, поддержание в актуальном состоянии, совершенствование, оценку эффекта для бизнеса и своевременную отмену нормативно-методических документов организации.

Несмотря на разнообразие нормативно-методических документов, большинство из них используются для регламентации бизнес-процессов. Поэтому актуален постоянный мониторинг и оценка состояния системы стандартизации бизнес-процессов. Это позволит определить, какие части системы не функционируют (работают неэффективно).

Основной проблемой ССБП является отсутствие системного взгляда на ее построение, как следствие - «белые пятна» и разорванные обратные связи по процессам, влияющим на возможность практического использования регламентирующих документов.

Приведу примеры отсутствия регламента в практике:

- в строительной компании при составлении двух одинаковых отчетов, но с разными данными два сотрудника составили его за разное время. Первый выполнил работу за 10 минут, и справился без ошибок. Второй за 30 минут и допустил 4 ошибки. Различие по времени зависит от того, какой подход выбрал каждый из сотрудников.

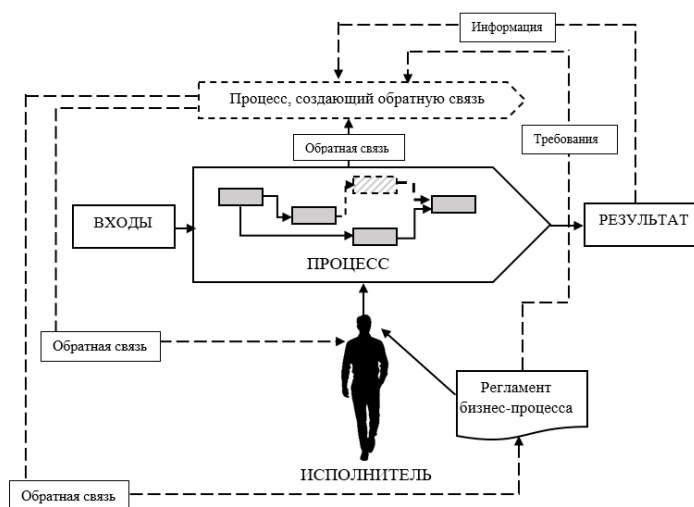
Допустим, квалифицированный рабочий приобрел сварочный аппарат, закончил курсы по сварочным работам, изучил руководство и начал выполнять сварку изделия. Да, у

него получается, но плохо. Вся проблема из-за недостатка навыка. Он получает навык, становится мастером своего дела и начинает учить других.

Почему тогда хорошо написанный регламент «не попадает в голову исполнителю» и не становится навыком?

А дело в том, что при этом разрушена обратная связь процесса.

Данную ситуацию рассмотрим схематично на рисунке 1, где указана схема выполнения процесса в соответствии с регламентом. Но без обратной связи мы не сможем узнать, что он действительно выполняет процесс в соответствии с регламентом.



**Рисунок 1 - Процессы, создающие обратную связь**

Процессы, «замыкающие» обратные связи, приведены в таблице 1.

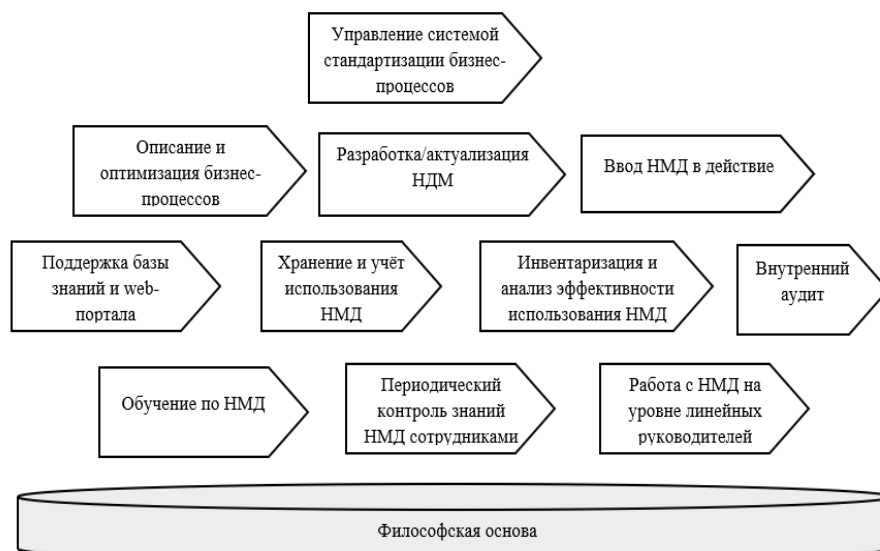
**Таблица 1**

Процессы, «замыкающие» обратные связи

Процессы для «замыкания» обратных связей	
	планирование и контроль описания и регламентации процессов
	проведение моделирующих сессий
	контроль качества моделей процессов
	валидация моделей процессов
	разработка оперативных методов контроля исполнения нормативно-методических документов (НМД)
	контроль качества проектов НМД
	валидация проектов НМД
	обучение и аттестация сотрудников на знание НМД

	контроль исполнения НМД и поддержка сотрудников во время переходного периода
0	проведение инвентаризации НМД
1	периодический оперативный контроль исполнения НМД линейным руководителем

Если организация предполагает заниматься стандартизацией, то у неё должна быть разработана система ССБП, примерная схема которой приведена на рисунке 2.



**Рисунок 2 - Структура процессов системы стандартизации бизнес-процессов**

К первой категории процессов относят управление самой системой, где планируются какие системы будут описываться и анализироваться (какая у нас есть документация, сколько людей вовлечено и как мы этих людей привлекаем, по какому плану и как мы проверяем результативность наших описаний качества?).

Вторая категория - это описание и оптимизация бизнес-процессов. Но если у нас есть только описание, а другого ничего нет, то никакой системы и не может существовать. Но для неё нужна ещё разработка/актуализация нормативно-методических документов (НДМ), далее ввод НДМ в действие. А также ряд категорий технических процессов (рис.2), без которых система не замыкается в обратной связи.

Вся ССБП должна строится на философской основе, которая означает устранение потерь и стабилизацию процессов.

Описание процесса - это важно, но этого не всегда достаточно для качественной работы организации.

Стандартизация процессов вещь необходимая. Если процесс стандартизован, стабилен и мы работаем по регламентам, то мы минимизируем потери и создаём платформу для развития и расширения организации.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Репин В.В.* Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление / *В.В. Репин.* - М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. - 512 с.

2. *Репин В.В.* Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / *В.В. Репин.* - М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013.- 544с.

3. [Электронный ресурс]

URL:[http://old.iteam.ru/publications/processes/sistema\\_standartizatsii\\_biznes\\_protssesov](http://old.iteam.ru/publications/processes/sistema_standartizatsii_biznes_protssesov) (дата обращения 23.02.2022)

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ НА  
ОСНОВЕ ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА (ООО «КНАУФ»  
г. ЧЕЛЯБИНСК)**

***Никифорова Е.С.***

*студентка 4 курса 34 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Лисиенкова Л. Н.**

*доктор технических наук, профессор кафедры КБС НИУ МГСУ*

Концепция «бережливого производства», появившаяся в 1950 году благодаря Тайити, успешно завоевывает мир своей технологией устранения всех видов потерь, как представлено в научной работе [1]. В современной обстановке на рынке, грамотно организованная производственная система является выигрышной для конкурентоспособности выпускаемой продукции. Внедрение системы бережливого производства — это не разовое мероприятие, а постоянная работа над последующими улучшениями в постоянно меняющейся коммерческой ситуации. При разумном использовании концепции можно решить следующие задачи: улучшить качество готового продукта; устранить лишние расходы и снизить затраты; сократить временные ресурсы на производственные процессы на всех этапах, время от поставок сырья до получения товара непосредственно потребителем.

История бережливого производства, имела взлеты и падения в своем постоянном развитии. В 1913 году Генри Форд начал первые движения по использованию сборочного конвейера при производстве сложных машинных изделий, сформировал массовое производство. Но по технологии, прорыв уходил гораздо дальше. Позже была пересмотрена первоначальная производственная система Ford и изобретена производственная система Тойота (Toyota Production System — TPS). Система, очевидно, сместила акцент технологии массового производства отдельных машин в сторону бережливого производства. За последнее время этот стремительный успех породил огромную потребность в более глубоких познаниях о бережливом мышлении.

Суть бережливого производства в том, чтобы сократить действия, которые бесполезны для выпускаемой продукции на всем его жизненном цикле [2]. По сути – это управление производственным предприятием, основанное на постоянном стремлении к устранению всех видов потерь. Внедрять методологию можно абсолютно в любых направлениях.

Главной особенностью бережливого производства является его индивидуальность для каждого предприятия, из-за этого появляется необходимость в разработке методики для конкретного производства.

Самыми популярными и эффективными управленческими инструментами по мнению автора [3] являются: концепция 5S; метод JIT; метод «Пока-ёке» (PoKa – YoKe); подход Кайдзен; система Канбан; режим Андон; метод SMED; контроль качества; управление качеством; анализ и планирование качества и другие.

Для адаптации и внедрения инструментов бережливого производства на предприятии ООО «КНАУФ» при производстве строительных смесей необходим анализ ценностей в готовом товаре и потребительского уровня качества.

Далее необходимо рассмотреть жизненный цикл рабочего процесса и определить, что должно быть исключено или не приводит к созданию ценной составляющей для готовой смеси. Исключая слабые стороны в рабочем потоке, оптимизировать время производства. Также требуется поставить задачу специалистам по маркетингу отслеживать спрос на продукцию, чтобы избежать остатков, тем самым снижая затраты. Анализ производства позволяет компании следить за результатами внедрения на каждом этапе, выявлять и сокращать недостатки.

В соответствии с концепцией бережливого производства, мероприятия, которые предприятие ООО «КНАУФ» г. Челябинск планирует реализовать, должны быть мало затратными и экономически эффективными. Автор настоящей статьи предлагает следующий ряд мероприятий по внедрению концепции:

- подобрать оборудование необходимой производительности для фактического необходимого объема реализации строительных смесей;
- разработать интеллектуальную систему контроля качества свойств смеси (цвет, текстура, пенетрация, эластичность) на основе датчиков автоматического контроля состава компонентов смеси в процессе производства;
- разработать технологическую последовательность операций в процессе и планировку оборудования;
- оптимизировать параметры процесса (такт, ритм) и обеспечить его синхронность на каждом этапе без простоев и потери времени на лишние или дублирующие действия;
- внедрить системы самоконтроля для обеспечения качества.

Использование выбранной комбинации инструментов позволит снизить себестоимость строительной смеси и обеспечить высокое качество и ассортимент при высокой пропускной способности процесса.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тайити Оно*. Производственная система Тойоты: уход от массового производства. — М: Издательство ИКСИ, 2012.
2. ГОСТ Р 56407-2015 Бережливое производство. Основные методы и инструменты
3. *Майкл Вэйдер*. Инструменты бережливого производства. Мини-руководство по внедрению методик бережливого производства. Альпина Бизнес Букс, 2007 г.



## ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ СТАНДАРТИЗИРОВАННОГО «УМНОГО ГОРОДА»

*Постаногова П.Ф.*

*студентка 3 курса 34 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Черкина В.М.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры КБС НИУ МГСУ*

Город – населенный пункт, являющийся промышленным, экономическим и культурным центром, имеющий развитую инфраструктуру. По прогнозам ООН в середине XXI века 70% населения мира будет жить в городах, это около 3 миллиардов новых жителей, поэтому на сегодняшний день существует проблема оперативного реагирования на вопросы безопасного функционирования городских сообществ.

Целью работы является рассмотрение и систематизация номенклатуры по созданию «Умного города», которая поможет муниципалитетам выявить стандартизированные показатели для оценки эффективности функционирования города.

Тема работы является актуальной, так как интеграция информационных и коммуникативных технологий определяет стандартизацию показателей оценивания качества жизни для горожан как в масштабах страны, так и между государствами.

Конференция ООН по устойчивому городскому развитию Хабитат-III, прошедшая в октябре 2016 года в Эквадоре, своей резолюцией одобрила документ под названием «Новая программа развития города». Участники конференции взяли обязательство «следовать концепции «умного города».

В Европарламенте считают, что стандартизированный «умный город» – smart city – это тот, который решает все проблемы за счет коммуникационных ресурсов. Российские же ведомства описывают smart city как инновационный город, который комплексно внедряет решения на благо его жителей.

Учитывая мировые тренды, Правительство России в 2017 году утвердило программу цифрового управления городом, перевода управленческих процессов на «электронные рельсы».

«Умный город Сколково» является лабораторией и экспериментальной площадкой для разработки и апробирования новых технологий, которые будут внедряться в городах.

Интеллектуальный город выполняет две важные задачи: сбор и передачу данных местным властям и налаживание обратной связи между администрацией и горожанами.

Существуют организационные, финансовые и технологические проблемы создания и развития «умного города». Например, проблема анализа больших данных, проблема развития транспортной инфраструктуры или проблема внедрения интеллектуальной энергетики.

Для создания стандартизированного «умного города» международными техническими комитетами по умным и устойчивым городам разработаны специальные стандарты. ISO 37101, ISO 37120 и ISO 30182.

Стандарт «Устойчивое развитие в сообществах. Система менеджмента» ориентирован на обеспечение развития местных инициатив и устанавливает требования по созданию структуры строительного предприятия, которая обеспечивает баланс интересов бизнеса и общества.

В настоящее время в США одной из наиболее успешных систем оценки эффективности деятельности муниципалитетов считается система оценки, используемая в штате Флорида. Ее интегральный показатель представляет собой сводный индекс, зависящий от стратегических целей и задач развития города. В него входит десять операционных и финансовых показателей, а также учитывается уровень удовлетворенности населения деятельностью органов местного самоуправления.

В нашей стране подобные требования изложены в стандарте ГОСТ Р ИСО 37120-2020 «Устойчивое развитие сообщества. Показатели городских услуг и качества жизни», который устанавливает набор индикаторов для измерения качества жизни.

Основные показатели могут быть измерены любым городом, независимо от его местоположения, тогда как вспомогательные показатели образуют более сложную систему и требуют проведения расчетов и сравнительного анализа между городами. К примеру, в группе показателей «Экономика» рассчитываются основные показатели – характеристики доходов населения, доля населения, живущего в бедности и т.д., а также второстепенные – такие как суммы и виды выплат социальных пособий.

Если рассматривать группу показателей «Городское планирование», то основным показателем будет являться количество объектов с завершенным/не завершенным строительством, а одним из второстепенных – доля иностранной рабочей силы в общем объеме задействованных трудовых ресурсов. Повышение значения показателя, например, в энергетике осуществляется за счет создания интеллектуальных систем учета и регулирования спроса, внедрения возобновляемых видов энергии, эксплуатации энергоэффективных зданий. В транспортном секторе - контроль транспортных потоков и качества дорожного покрытия, инфраструктура зарядных станций для электромобилей. Для

образования - внедрение дистанционного обучения и онлайн-курсов, электронных учебников.

Городам необходимы стандартизированные показатели. Они будут использоваться для оценки эффективности функционирования города. Количественная оценка потенциала города позволит выявить скрытые резервы в развитии стандартизированного «умного города». Муниципалитеты, прошедшие сертификацию, будут более привлекательными для инвесторов и туристов.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Об утверждении паспорта Ведомственного проекта Цифровизации городского хозяйства «Умный город»: приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 октября 2018г. № 695.

2. Открытые системы, процессы стандартизации и профили стандартов: [электрон. журн.] URL: <http://citforum.ru/database/articles/art19.shtml>.

3. Устойчивое развитие в сообществах. Система менеджмента. Общие принципы и требования: ГОСТ Р ИСО 37101-2018: введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 августа 2018 г. № 461-ст // Техэксперт: <https://docs.cntd.ru/document/1200160099>.

4. Устойчивое развитие сообщества. Показатели городских услуг и качества жизни: ГОСТ Р ИСО 37120-2020: введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 августа 2020 г. № 523-ст // URL: <https://base.garant.ru/75069624/>.

5. Информационные технологии (ИТ). Умный город. Совместимость данных: ПНСТ 439-2020 (ИСО/МЭК 30182:2017): введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 августа 2020 г. № 48-пнст // Техэксперт: <https://docs.cntd.ru/document/1200174806>.

## **РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА СТАНДАРТА ОРГАНИЗАЦИИ «КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ ОТДЕЛОЧНЫХ РАБОТ»**

**Полякова А. Э.**

*студентка 4 курса 34 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Лисиенкова Л. Н.**

*доктор технических наук, профессор кафедры КБС НИУ МГСУ*

Под качеством строительства понимается соответствие качества построенных зданий проектным решениям и нормативам. Качество должно формироваться на всех этапах строительства: предпроизводственной (проектирование), производственной (строительные и монтажные процессы) и после производственной (эксплуатация). Контроль качества выполняемых работ позволяет быстро выявлять отклонения в технических характеристиках и принимать меры по их своевременному устранению. Контроль за каждым этапом строительства гарантирует высокий уровень качества работ. Основная задача контроля качества строительства заключается в отслеживании соответствия характеристик строящегося здания действующим ГОСТ и СНиП. Недостаточное внимание к качеству приводит к удорожанию строительства, увеличению эксплуатационных расходов для поддержания требуемого технического состояния построенного объекта, ухудшению необходимых удобств и комфорта для потребителей, а в отдельных случаях – к авариям недоброкачественно построенных сооружений.

Повышение качества строительства должно быть в центре ежедневного внимания рабочих, мастеров и руководителей стройплощадок. Контроль качества должен быть эффективным, строгим и ответственным. Одним из главных условий повышения качества работы является предъявление более жестких требований к качеству материалов, конструкций и изделий, а также к качеству работ, выполняемых бригадой. Сегодня контроль качества имеет огромное значение, поскольку инновационные технологии применяются к зданиям и сооружениям, которые строились в течение многих лет, соответственно возрастает ответственность за характеристики строящихся объектов. Это означает, что при вводе строительного объекта в эксплуатацию необходимо соблюдать современные стандарты качества, чтобы исключить возникновение проблем, связанных с периодом строительства.

Строительство массового жилья является самым трудоемким из всех работ по строительной и монтажной работе. В большинстве случаев качество отделки определяет общий уровень оценки сданного объекта.

Отделочные работы включают в себя следующее:

- малярные работы (клеевая и масляная окраска, окраска синтетическими составами по штукатурке, бетону, дереву, металлу и др.);
- штукатурные работы (оштукатуривание кирпичных стен или затирка стен и потолков из сборных элементов, а также отделка стен листами сухой штукатурки и др.);
- облицовочные работы (облицовывание стен и полов глазурованными или другими плитками);
- обойные работы.

Если монтажные, сантехнические, электротехнические и другие работы выполнены в соответствии с проектом и требованиями ГОСТ, СНиП, установлено временное освещение и водоснабжение, помещения просушены, зимняя температура устойчивая (не ниже  $-8^{\circ}\text{C}$  на высоте 0,5 м от пола), то объект считается готовым к сдаче в эксплуатацию для проведения отделочных работ.

К отделочным работам в жилом доме можно приступать только после составления акта приемки выполненных работ. В акте приемки должно быть указано состояние готовности здания или его частей к отделочным работам и перечислены дефекты в конструкции здания, требующие расширения объема отделочных работ по сравнению с проектной документацией и СНиП.

Поскольку качество отделочных работ во многом зависит от качества используемых строительных материалов, производитель работ, мастер и лаборант должны проверять все поступающие материалы для строительства и наличие паспортов и документов с указанием их качественных характеристик на каждую партию. Если есть сомнения в качестве поступающих материалов, следует отобрать средний образец и отправить его в лабораторию для тестирования.

Контроль качества отделочных работ является комплексом контрольно-проверочных работ, которые обеспечивают корректное выполнение отделочных мероприятий в полном соответствии с актами и нормами. Контроль качества облицовочных работ осуществляется с целью проверки качества работ и используемых материалов, конструкций. Важно, чтобы порядок работ соответствовал ГОСТ, СНиП.

Качество отделочных работ достигается решением следующих задач:

- своевременным выявлением, устранением и предупреждением дефектов, брака и нарушений правил производства работ, а также причин их возникновения;
- определением соответствия показателей качества строительных материалов;

- повышением качества отделочных работ, снижением непроизводительных затрат на переделку брака;

- повышением производственной и технологической дисциплины, ответственности работников за обеспечение качества работ.

Контроль качества осуществляется:

- представителями органов государственного контроля и надзора;
- представителями вышестоящих организаций заказчика и подрядчика, инспектирующими строительство;
- представителями проектных организаций (авторским надзором);
- комплексными комиссиями в составе представителей заказчика и подрядных организаций;
- представителями заказчика (техническим надзором за строительством);
- персоналом подрядных строительных организаций, а также комиссиями внутреннего контроля, назначенными руководителем подрядной организации.

При приемке отделочных работ проверяются:

- соответствие примененных материалов, изделий требованиям проекта, ГОСТ, СНИП, ТУ;
- соответствие состава и объема выполненных работ проекту;
- степень соответствия контролируемых физико-механических, геометрических и других показателей требованиям проекта;
- своевременность и правильность оформления производственной документации;
- устранение недостатков, отмеченных в журналах работ в ходе контроля и надзора за выполнением отделочных работ.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. СП 71.13330.2017 «Изоляционные и отделочные покрытия. Актуализированная редакция СНиП 3.04.01-87»
2. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 2 июля 2013 года).
3. Приказ Росстандарта от 02.04.2020 N 687 «Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений"».

4. *Юдина А.Ф.* «Строительство жилых и общественных зданий» 2011 г.
5. [Электронный ресурс] URL:<https://nso-tn.ru/>(дата обращения: 27.02.2022)

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ**

**Сулима Д.В.**

*студентка 4 курса 34 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Лисиенкова Л. Н.**

*доктор технических наук, профессор кафедры КБС НИУ МГСУ*

На сегодняшний день известно, что стабильно высокий уровень шума способен спровоцировать серьезные патологии сердечно-сосудистой и нервной системы человека. В ситуации повышенной акустической нагрузки человек быстрее утомляется, у него снижается внимание и память, а это значит, что он совершает больше ошибок. В случае, если к шумовой нагрузке добавляется еще и вибрационная, риск развития серьезных патологий возрастает в несколько раз. Поэтому в соответствии с Федеральным законом № 426-ФЗ от 28.12.2013 «О специальной оценке условий труда» необходимо проводить оценку вредных факторов на рабочих местах[1].

Специальная оценка условий труда (СОУТ) - это одна из важнейших процедур, направленных на получение объективной информации о состоянии условий труда на рабочих местах, и определения необходимости установления: компенсаций, работникам, занятым на работах с вредными и/или опасными условиями труда, прохождения предварительных и периодических медицинских осмотров, назначения профилактического питания, досрочного (льготного) пенсионного обеспечения и др.

В статье 214 №426-ФЗ указано, что работодатель обязан организовывать контроль за состоянием условий труда на рабочих местах и проводить специальную оценку условий труда в соответствии с законодательством о специальной оценке условий труда. Специальная оценка условий труда на рабочем месте проводится не реже чем один раз в пять лет.

Существует 4 класса условий труда:

1. Оптимальные условия труда (1 класс);
2. Допустимые условия труда (2 класс);
3. Вредные условия труда (3 класс);
  - 3.1. подкласс 3.1 (вредные условия труда 1 степени);
  - 3.2. подкласс 3.2 (вредные условия труда 2 степени);



- 3.3. подкласс 3.3 (вредные условия труда 3 степени);
- 3.4. подкласс 3.4 (вредные условия труда 4 степени);
- 4. Опасные условия труда (4 класс).

Предупредить негативное воздействие шума на работников можно следующими путями:

- устранить причины шума или существенное его ослабление в самом источнике образования в процессе проектирования технологических процессов и конструирования оборудования;
- улучшить конструкторские характеристики машин;
- использовать звукопоглощающие и звукоизолирующие материалы;
- применять средства индивидуальной защиты – ушные вкладыши, наушники, шлемы;
- изменить направленность звука.

Для измерения уровней шума применяют специальные приборы-шумомеры. Например, шумомер-анализатор спектра, виброметр портативный ОКТАВА-110А или портативный прибор, объединяющий в себе функции шумомера, многоканального виброметра, анализатора спектра Экофизика -110А.

Шумомер состоит из нескольких обязательных элементов, которые работают по следующей схеме. Звук улавливается чувствительным микрофоном ненаправленного действия. Акустическое давление на мембрану преобразуется в переменное электрическое напряжение. Затем, пройдя через усилитель, сигнал идет на фильтры (малой, средней или большой громкости), где выделяется тип шумов. С помощью детектора пользователь получает информацию на индикаторе.

Согласно правил, уровень шума на рабочем месте в помещениях промышленных предприятий замеряют не менее чем в трёх точках. Микрофон, воспринимающий шум, следует располагать на высоте 1,5 м над уровнем пола или рабочей площадки (или на высоте головы человека, работающего сидя). Он должен быть направлен в сторону источника шума и удален не менее чем на 0,5 м от человека, совершающего измерение[2].

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в дБ в октавных полосах(- полосы частот, у которых отношение верхней граничной частоты к нижней равно 2) со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц; в ряде случаев для ориентировочной оценки шума допускается измерение шума в дБА. Характеристикой непостоянного шума на рабочих местах является эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА.

Оценка шума на рабочем месте заключается в сопоставлении результата измерения нормируемой величины с гигиеническим нормативом и принятия на основе этого решения о соответствии или несоответствии условий труда на данном рабочем месте безопасным с точки зрения шумового воздействия на работника.

В случае обеспечения на рабочих местах безопасных условий труда, подтвержденных результатами СОУТ, предусмотренных настоящим Кодексом гарантии и компенсации работникам за работу с вредными и (или) опасными условиями труда не устанавливаются. В обратном случае, в соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014 если предприятие не соблюдает СанПиН и нормы шума, будет наложен штраф. Также могут приостановить работу предприятия на срок до 90 суток[3].

На сегодняшний день нормативным документом, регламентирующим предельно допустимые уровни (ПДУ) шума в помещениях общественных и жилых зданий, являются Санитарные правила и нормы [4].

Организация, проводящая специальную оценку условий труда, должна соответствовать следующим требованиям:

1) указание в уставных документах организации в качестве основного вида деятельности или одного из видов ее деятельности проведение специальной оценки условий труда;

2) наличие в организации не менее пяти экспертов, работающих по трудовому договору и имеющих сертификат эксперта на право выполнения работ по специальной оценке условий труда;

3) наличие в качестве структурного подразделения испытательной лаборатории (центра), которая аккредитована национальным органом по аккредитации в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации и областью аккредитации которой является проведение исследований (испытаний) и измерений вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса.

К трудовой деятельности в качестве эксперта организации, проводящей специальную оценку условий труда, допускаются лица, прошедшие аттестацию на право выполнения работ по специальной оценке условий труда и имеющие сертификат эксперта на право выполнения работ по специальной оценке условий труда[4].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон № 426-ФЗ от 28.12.2013 «О специальной оценке условий труда»
2. Методические рекомендации для студентов «Гигиеническая оценка шума и вибрации. Шумовая и вибрационная болезнь. Профилактика.» - доц., к.м.н. Зайкова З.А., Иркутск, 2016 г.
3. ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности»
4. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания"

**СЕКЦИЯ ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ В  
ЭНЕРГЕТИКЕ, ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АРКТИКИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОКУПОЛА

**Богомольский В.Е.<sup>1</sup>, Кондратенко А.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> студент 3 курса 15 группы ИЭУКСН НИУ МГСУ

<sup>2</sup> студент 3 курса 19 группы ИЭУКСН НИУ МГСУ

**Научный консультант: Субботин А.С.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

### **Аннотация**

Данная статья посвящена проблеме развития российской территории Арктики с точки зрения градостроительства. Решение проблемы связано с созданием нового подхода к строительству жилых комплексов в условиях вечной мерзлоты с использованием современных технологий. Проект также направлен на выполнение целей устойчивого развития, которые были утверждены Правительством Российской Федерации.

**Ключевые слова:** градостроительство, зеленое строительство, Арктика.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Главное проблемой территории Арктики являются устаревшие города. Они морально устарели и уже не соответствуют современным условиям жизни. Такие города как Мурманск, Норильск и другие небольшие населенные пункты труднее и дороже обслуживать из-за отопления, обслуживания старого жилого фонда. На данный момент состояние самого жилья является удовлетворительным. Жители начинают уезжать в более развитые регионы из-за неразвитой городской инфраструктуры и отсутствия работы в сфере услуг. Для достижения нашей цели мы предлагаем развивать городскую инфраструктуру городов с помощью типовых жилых проектов, которые будут автономными, энергоэффективными и комфортными для проживания и работы.

Проблемы современных домов в условиях постоянной мерзлоты связаны с дороговизной оплаты коммунальных расходов, в первую очередь из-за отопления. Советские панельные дома требуют постоянную подачу тепла в зимний сезон, и квартиры не могут сохранить его из-за теплопотерь стен и окон. В таких домах окна продувают квартиры, их постоянно заклеивают, а на стенах не установлена минеральная вата.

Наше решение – это крупный крытый жилой комплекс, который не будет терять тепло. Комплекс должен быть многозадачным, чтобы люди могли в нем жить, работать и отдыхать.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В качестве материалов использовались различные источники информации из интернета. Основные методы статьи – анализ, изучение, синтез. Выбор данных материалов и методов связан с необходимостью найти информацию, которая отражает актуальное состояние городов, расположенных на севере России, а также проанализировать перспективы развития Арктики и возможные решения по созданию типовых жилых проектов.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Регионы Арктики, несмотря на свой климат и удовлетворительное состояние городов, считаются крайне перспективными для экономики России. В соответствии с указом Президента Российской Федерации от 26.10.2020 № 645 "О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года" данная территория обозначена как стратегически важная и необходимая в дальнейшем развитии [1].

Существует две причины перспективности Арктики. Во-первых, вдоль территории крайнего севера проходит северный морской путь. Его главным преимуществом является скорость доставки морских грузов между Европой и Азией. Если сравнить длину северного морского пути с торговым путем через Суэцкий канал, то российский вариант будет короче на 9000 километров [2].

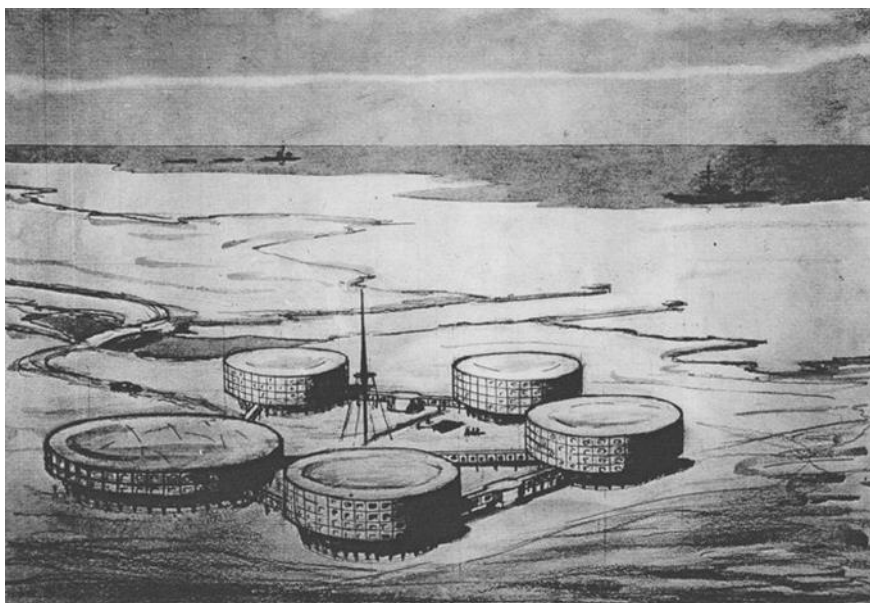
Во-вторых, на территории Арктики находится огромное количество полезных ископаемых. Российские компании добывают в этом регионе нефть и природный газ, в этом же месте занимаются их переработкой и в дальнейшем отправляют углеводороды на мировой рынок сбыта с помощью морского транспорта. Учитывая потребность многих стран в газе для достижения целей устойчивого развития, потенциальная прибыль нефтегазовой отрасли в Арктике достаточна велика, тем самым, полученную выручку можно направить на развитие городов крайнего севера, в том числе на создание типового жилого проекта [6].

Обозначив преимущества Арктики, мы определили смысл строительства крытого жилого комплекса: сотрудники транспортных и нефтегазовых компаний должны иметь рядом со своим местом работы комфортное, экологичное и современное жилье.

Попытки создать крытый жилой комплекс уже были предприняты архитекторами-проектировщиками СССР. Данный вопрос активно рассматривался в Правительстве Советского Союза. На основе этих проектов мы можем выявить преимущества крытых комплексов в Арктике.

Проект Константина Агафонова по задумке должен избегать сильных снежных заносов и сохранять тепло. Этот проект примечателен не только своим необычным видом: при описании каждой детали Агафонов делает акцент исключительно на его технической рациональности и научной обоснованности, ни разу не комментируя модернистские архитектурные формы.

Так, он объясняет, что круглая форма зданий позволила бы лучше сохранять тепло и избегать вблизи стен сильных снежных заносов. Теплые переходы между зданиями дали бы возможность жителям комфортнее перемещаться по комплексу во время сильных морозов. Кроме того, можно было бы проложить инженерные коммуникации в специальных теплых коробах, что сильно удешевило бы строительство в условиях вечной мерзлоты [3, 8].

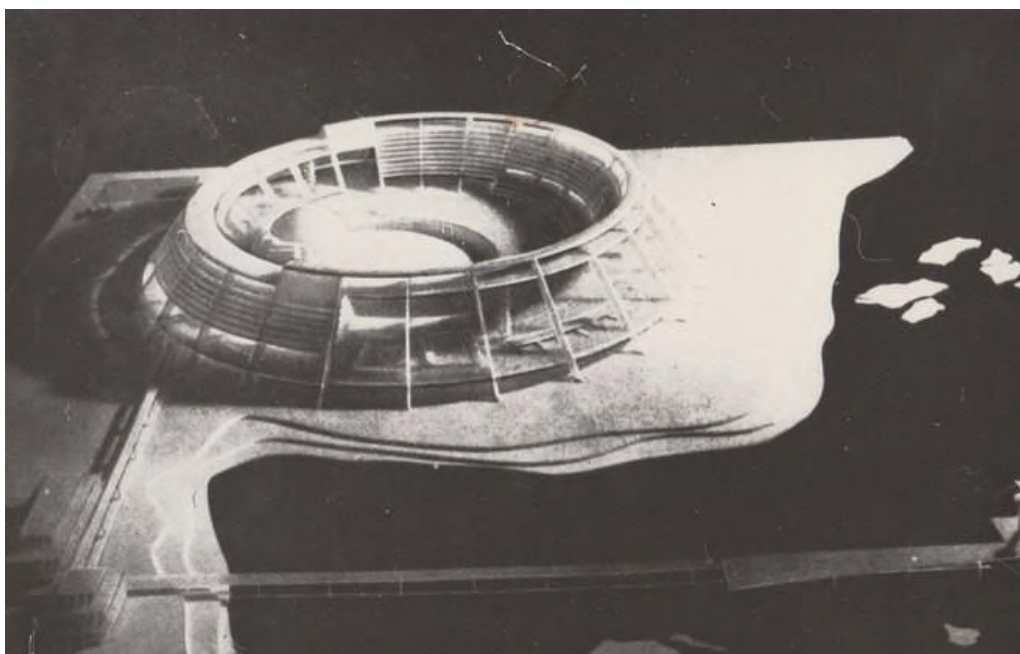


**Рисунок 1.** Проект Константина Агафонова

Проект С. Одновалова и М. Цимбал, дома имели цилиндрическую форму, первый этаж был поднят на три метра над землёй, что помогало избежать отложение снега и передачи тепла от зданий в вечно замёрзший грунт. Крытые пассажи с газонами и декоративными кустарниками, соединяющие центр с остальными зданиями, должны были служить своеобразными пешеходными улицами города. В них же предполагалось размещать магазины, парикмахерские и т. п.



**Рисунок 2.** Проект Станислава Одновалова и Майи Цимбал



**Рисунок 3.** Проект Валентина Танкаяна. 1968 год

Также был ещё один проект В. Танкаяна, где был свой микроклимат и здание было кольцеобразной формы, под крышей которого было создано жильё необходимое общественные, спортивные и культурные учреждения. Танкаян предлагал проект поселка на четыре тысячи человек, состоящего из одного кольцеобразного здания, объединяющего под своей крышей жилье, необходимые общественные, спортивные и культурные учреждения, зимний сад, магазины и школы [3].

Косвенно в этих проектах можно усмотреть и воплощение образов скорого коммунистического будущего, спровоцированных принятием Третьей программы КПСС в 1961 году, и влияние возросшей в 1960-е годы романтизации Севера и Сибири, и почти



прямое заимствование форм и принципов западноевропейского архитектурного модернизма. От того любопытнее, что сами авторы этих проектов в своих многочисленных статьях и научных отчетах никак не упоминают ни установку на скорейшее строительство коммунизма, ни понятие «модернизм» [3].

К сожалению, все вышеперечисленные проекты так и не были реализованы. Можно лишь предположить, что это могло быть связано и с прекращением финансирования, и с тем, что специфические строительные материалы и технику было крайне сложно завозить на такие расстояния. Также это могло быть связано с рядом других бюрократических сложностей, о которых нет никакой информации.

На данный момент наиболее современный проект крытого комплекса – экокупол 2020. Данный проект был создан архитектурным бюро «Элис». Предлагалось создать в существующем отработанном котловане карьера градостроительное образование нового типа – «Экогород 2020». На основании современных научных и технологических знаний на месте гигантской воронки диаметром около километра и — глубиной 550 метров в условиях вечной мерзлоты проектом планировалось создать город-сад, который станет центром притяжения населения, а также международных туристов в Восточную Сибирь [4,5].

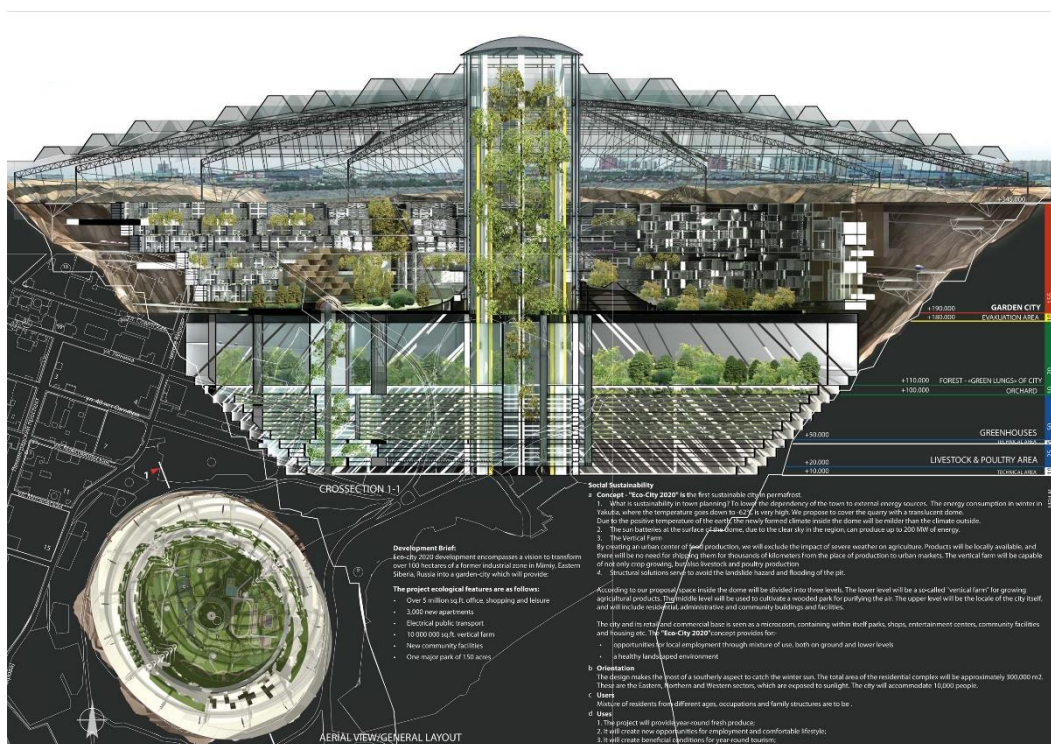


Рисунок 1. Проект Экогород 2020

Говоря про сам купол первым делом, стоит отметить, что сам купол не обязательно будет один километр в диаметре о может быть и гораздо меньше, что существенно снижает затраты на постройку. Проект хорошо продуман, на самом куполе не будет скапливаться

снег во время снежных бурь, а будет уходить в специальные ловушки, где в свою очередь будет таять и использоваться для технических нужд проекта. Силовая конструкция довольно прочная и способна выдержать сильные метели, а благодаря тому, что купол будет практически в уровень с землёй то ветер не будет продувать или поддувать всю конструкцию.

Также следует сказать и про внутреннее наполнение проекта. Экокупол разделён на три уровня: нижний – это фермы для выращивания сельскохозяйственной продукции; средний – это леса и парки, а верхний ярус – это жилая зона. Площадь как верхнего, так и нижнего уровня варьируется от того какого будет площадь самого купола. Вентиляция всего подкупольного пространства предусматривается естественной, за счет разницы в давлении холодного и теплого воздуха [7].

Таким образом, постройка экокупола решает ряд проблем, такие как:

- Обеспечение населения круглогодично свежей сельхозпродукцией;
- Новые возможности для трудоустройства и комфортной жизни;
- Достижение целей устойчивого развития в Арктике.

## **ВЫВОДЫ**

Таким образом, можно сказать, что развитие Арктики — это одно из самых перспективных, правильных и важных подходов, чтобы государство начало развиваться не только на западе, но и на севере, принося с собой новые культуры, традиции, поднимало экономику и сельскохозяйственную структуру, а также улучшало качество жизни в стране. Хорошая и правильная инфраструктура улучшает демографию и качество жизни в городе, где каждый может развиваться и получать новые возможности для самореализации.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2020 № 645 "О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года";
2. <https://будущее-арктики.рф/otkuda-nachinaetsya-gde-proxodit-severnoy-morskoj-put/>. Откуда начинается и где проходит Северный морской путь. БУДУЩЕЕ АРКТИКИ.РФ;
3. <https://arzamas.academy/materials/1821>. Какими могли быть арктические города. Екатерина Калеменева. Arzamas academy;
4. [https://www.ab-elis.ru/ecocity2020?\\_escaped\\_fragment\\_ =](https://www.ab-elis.ru/ecocity2020?_escaped_fragment_=). АБ «Элис»;

5. <https://www.kp.ru/daily/25738/2727721/>. В Якутии построят подземный небоскреб? Юлия Алехина. Комсомольская правда;
6. <https://arctic2035.ru/c/proposals/infrastructure/>. Стратегия «Арктика 2035»;
7. <https://globalsib.com/80028/>. Архитекторы предложили создать город-сад под куполом в алмазном карьере в Мирном (Саха-Якутия). Краснов Александр. GlobalSib.
8. Возможность применения строительно-технологических решений по реализации инфраструктурных объектов на территории национальных парков и заповедников Субботин А.С., Достовалова А.Е., Смирнова В.А. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 2. С. 90-96.

# ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ЭТАПАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ТЭС И АЭС

**Федотов Е.Р., Зыкова С.Е.**

*студенты 4 курса 5 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научные консультанты: Субботин А. С.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

В данной статье рассматриваются недавно появившиеся технологии и проблема использования виртуальной реальности в строительстве. Уделяется внимание лазерному сканированию и его дальнейшее использование в цифровой информационной модели. Актуальность выбранной темы обусловлено необходимостью перехода на цифровые технологии строительной отрасли.

**Ключевые слова:** цифровизация, BIM-технологии, виртуальная и дополненная реальность.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Цифровые технологии внедряются в строительном секторе уже давно. Все чаще и чаще мы слышим о BIM-моделировании, электронном документообороте, виртуальной и дополненной реальности в строительстве. Технологии виртуальной реальности быстро развиваются, совершенствуются и применяются во все большем количестве областей. Еще 7 лет назад, когда на рынке появились первые доступные гарнитуры для бизнеса, VR-туры казались на грани технологических возможностей на рынке недвижимости. Но на данный момент все по-другому. Интерактивный контент по-прежнему завораживает и продолжает удивлять, служит помощником для компаний в демонстрации недвижимости и в то же время решает не менее важные задачи при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Разработчики виртуальной реальности вместе с компаниями научились ставить конкретные задачи и успешно решать их с помощью технологий.

## **ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ**

Виртуальная реальность — это мир, созданный техническими средствами и ощущаемый человеком через различные сенсорные каналы. Виртуальная реальность

позволяет создать искусственную среду, которая имитирует различные ситуации и отображает объект в масштабе 1:1, чтобы понять, как он будет выглядеть после завершения строительства.

Существует множество примеров использования виртуальной реальности, но ее применение в строительстве считается одним из наиболее перспективных. Технологии играют немаловажную роль для всех участников строительства. Для разработчиков проекта VR позволяет в реальном времени взглянуть на будущий объект, детально изучить сложные узлы [4, 5].

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Использование виртуальной реальности на разных этапах проектирования здания помогает избавиться от многих ошибок и недостатков. Это упрощает процессы утверждения и позволяет собрать всю информацию о запланированном здании или сооружении в одну комплексную модель. Но для заказчика и других участников строительства, которые мало понимают тонкости строительного дела, сложно представить, как будет выглядеть будущее сооружение и в какой степени оно будет соответствовать установленным критериям на основании лишь одной модели или чертежей. Здесь на помощь приходят технологии визуализации, в частности технологии виртуальной реальности (рис.1).

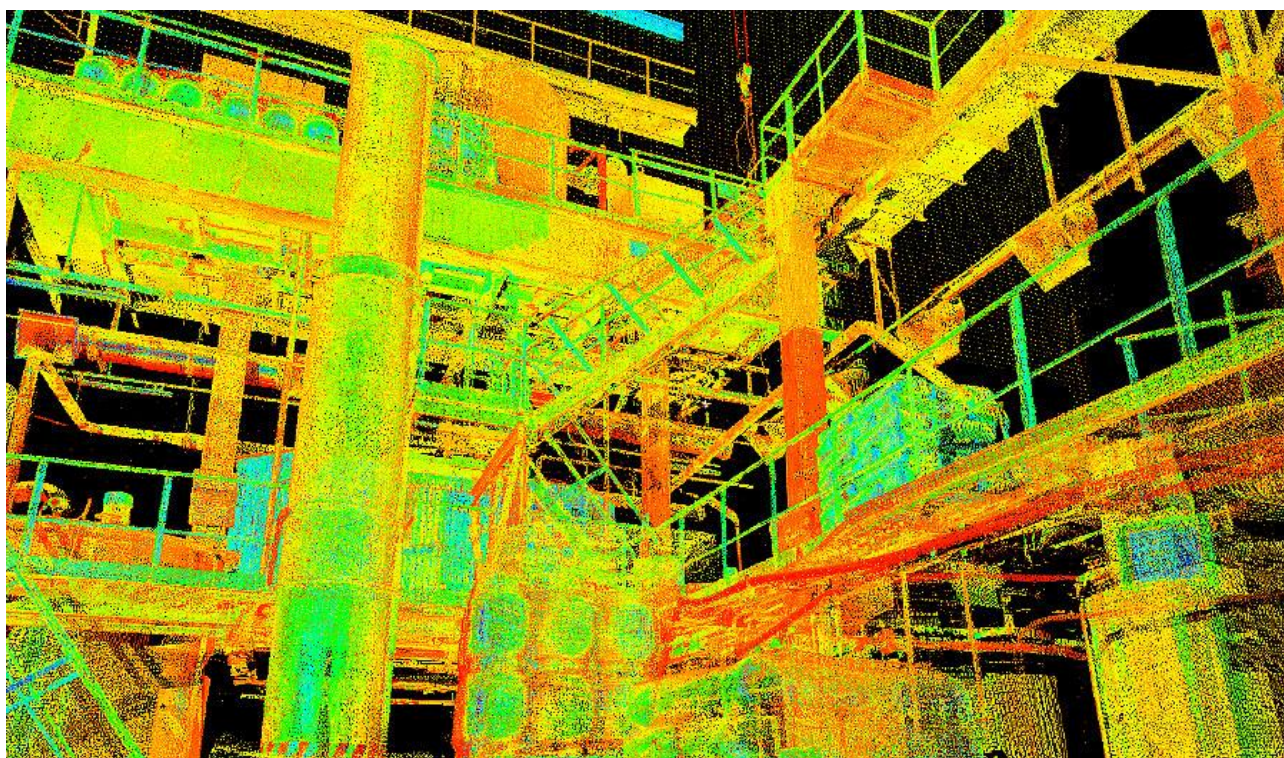
Виртуальное пространство позволяет пользователю погрузиться в искусственный мир и непосредственно действовать в нем с помощью специальных сенсорных устройств, которые связывают его движения с визуальными эффектами [1, 5].



**Рисунок 1** - Использование VR-технологий на проектной стадии. Визуализация проекта

## СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ

На этапе строительного-монтажных работ виртуальная реальность позволяет производить строительный контроль с помощью электронного лазерного безотражательного тахеометра. Для этого тахеометром производят лазерное сканирование для получения достоверных данных о всех элементах конструкции и фасадов здания. В процессе работы приборов создается облако точек с пространственными координатами, которые в итоге дают объемное изображение (рис. 2). Полученная модель объекта может содержать от нескольких тысяч до нескольких миллионов координатных точек, а измерения происходят с точностью до миллиметра [2, 6].



**Рисунок 2** -Фрагмент облака точек 3D лазерного сканирования.

Полученную трехмерную модель сверяют с исходной проектной моделью «накладывая» друг на друга. С помощью виртуальной реальности, не выходя из офиса, можно посмотреть все отклонения и выставить замечания. Это экономит время и упрощает работу.

То есть применение виртуальной реальности на данном этапе заключается в контроле и проверке генподрядчиком, заказчиком и органами госконтроля надлежащего выполнения строительного-монтажных работ. Для этого используется цифровая информационная модель объекта со стадии проектирования, которую наполняют

информацией об использованных материалах (сертификаты, паспорта качества и т.д.) и 3D модель объекта, полученную методом лазерного сканирования.

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ**

На стадии эксплуатации использование технологий виртуальной реальности позволяет наиболее качественно подготавливать сотрудников станций для обслуживания технологического оборудования и сетей коммуникаций. Как известно, почти 80% информации человек усваивает визуально, поэтому самое эффективное обучение происходит во время непосредственного видения изучаемых объектов или технологического процесса. Однако, ТЭС и АЭС относятся к тем объектам, на которых физически нельзя попасть в определённые места. Здесь и раскрывается весь потенциал виртуальной реальности. С помощью данной технологии можно наиболее быстро и подробно объяснить устройство самых сложных систем и их обслуживание.

## **ВЫВОДЫ**

В последнее время VR-технологии в России начали применяться крупными компаниями [3], связанными со строительством, но до сих пор внедрение виртуальной реальности сталкивается с рядом проблем. Главными из них являются стоимость необходимого оборудования и нехватка квалифицированных кадров. Пока что, VR используется больше для показа заказчику проекта и позволяет лучше понять проектный замысел, «прочувствовать» объект. Из данной статьи можно понять, что виртуальная реальность рано или поздно полностью внедрится в строительную отрасль и принесёт массу новых возможностей, которые ранее были недоступны.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Корнева Е.Р., Сусоев И.С. «Технологии виртуальной реальности в строительном проектировании».
2. Киямов И.К. «Технология лазерного сканирования в 3D проектировании».
3. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» [Электронный ресурс]: <https://rosatom.ru/>
4. Мелкумян А.О., Хуриев В.А. Актуальность применения современных BIM-технологий в проектировании инженерных систем объектов атомной энергетики. В сборнике: ДНИ СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУКИ. Сборник докладов научно-технической

конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института гидротехнического и энергетического строительства НИУ МГСУ. Москва, 2020. С. 251-258.

5. Subbotin A., Melkumyan A., Khuriev V. Organization of technological approach to the design of engineering systems using bim-technologies E3S Web of Conferences (см. в книгах). 2019. С. 3.

6. Субботин А.С., Жаркова Д.В. Возможность применения автоматизационных процессов для оформления исполнительной документации Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 10. С. 67-71.



# **BIG DATA: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ**

**Евина М.А.**

*студент 4 курса 6 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Алабин А.В.**

*старший преподаватель кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Накопление и исследование больших данных (Big Data) в сфере энергетического строительства становится одним из наиболее востребованных и перспективных направлений менеджмента. Предпосылками внедрения таких технологий являются, быстро изменяющиеся тенденции рынка, внедрение новых и модернизация неэффективных технологических процессов, а также, политико-экономические аспекты. Большие данные позволят инженерам-проектировщикам, организациям по монтажу, энерго- и ресурсоснабжающим организациям осуществлять наиболее взвешенные решения на основании существующих сведений на всех стадиях жизненного цикла зданий и сооружений энергетики.

**Ключевые слова:** Big Data (большие данные), строительство, энергетика

Big Date («Большие данные») представляют собой массивы данных, характеризующиеся колоссальными объемами, стремительно растущей скоростью накопления, многообразием их формата представления как в виде структурированной, так и неструктурированной информации. В наше время широко применяются в различных сферах жизнедеятельности: недвижимости, строительстве, транспорте, энергетике, сельском хозяйстве и другое.

Считается, что Big Date является одним из основных драйверов формирования информационных технологий. Работа с Big Date – это в первую очередь повышение качества, сокращение сроков и выявление рисков.

Исследование Big Date в проектировании и строительстве объектов энергетики активно развивается год за годом. К 2026 году общий объем данных во всем мире составит 163 зеттабайта (ЗБ), прогнозирует аналитическая компания IDC. Для сравнения: в 2016 году на планете было в 10 раз меньше данных — 16 ЗБ, а 2006 году — всего 0,16 ЗБ.

Отечественный рынок пока занимает небольшую часть в мировом предложении и потреблении информационных технологий. Но в 2018-2019 гг. было принято достаточно

заклучений и реализовано достаточное количество законодательных инициатив, способствующих формированию российского рынка Big Data.

С целью обеспечения успешного строительного производства анализ данных во все времена был существенно важным, и в настоящее время используются инструменты, позволяющие руководителям производить оценку и применять ресурсы наиболее целесообразно.

Долгое время проектировщики создавали свои проекты только лишь на бумажных носителях, и точная цифровая модель отсутствовала. При формировании цифровой модели зачастую выяснялось, что построенный объект сильно отличается от проекта. В этой связи становится важна оценка рисков для имеющихся отклонений от проекта, действительно оказывающих большое влияние на безопасность сооружения.

К примеру, современные методы позволили бы доставлять технику и строительные материалы из разных мест, в том числе удаленные заводы и другие строительные площадки. Применяя данные сведения, руководитель может отслеживать месторасположение и состав данных ресурсов, что дает возможность эффективно принимать решения об их использовании, но кроме того за короткий срок перемещать ресурсы в новое место [9].

Технологии Big Data в энергетике применяются на всех этапах энергоснабжения: генерации, транспортировки и распределения ресурса.

Например, на ТЭЦ создаются цифровые двойники для хранения большого объема данных о состоянии оборудования. Линии электропередачи оснащаются датчиками для мониторинга передаваемого количества электроэнергии, а при передаче ресурса потребителям благодаря технологиям Big Data компании собирают и обрабатывают сведения о динамике потребления, уровне платежей и дебиторской задолженности [8].

На сегодняшний день Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) остается консервативной отраслью, в которой внедрение «больших данных» не так активно, как в финансовой сфере или ретейле. Тем временем энергетика могла бы использовать Big Data для учета тех данных, которые косвенно влияют на производство энергии. К примеру, наблюдение состояния оборудования в непрерывном режиме даст возможность не только лишь мгновенно оповестить об аварии, а также избежать ее. А проанализировав собранные сведения, позволит уменьшить расходы на реализацию планово-предупредительной ремонтной стратегии.

Применение технологий Big Data позволит спрогнозировать выход оборудования из строя, оптимизировать энергопотребление с целью уменьшения предельных нагрузок, сплани-

ровать новые мощности, а также продумать ожидаемые объемы энергопотребления.

Но использование Big Data в энергетике ограничивает старое оборудование и экономические расходы на введение новейших цифровых технологий.

Отметим основные достоинства и недостатки данных технологий в форме таблицы:

Достоинства	Недостатки
Возможность прогнозирования при выполнении большого количества аналогичных операций;	Рост рисков при реализации уникальных проектов и при применении новых технологий, не имеющих достаточного массива данных для анализа;
Снижение затрат на построение модели, т.к. модель анализа данных является универсальной;	Сложность получения данных по аналогичным проектам (отсутствие глобальных баз, коммерческая тайна);
Возможность проигрывания различных сценариев строительства без создания алгоритмов и построения модели;	Необходимо законодательно создать глобальную федеральную базу данных с открытой информацией по всем строительным объектам (за исключением государственной тайны);
Модификация и моделирование различных процессов в ходе строительства (сложность изменения проекта после его утверждения), анализ рисков изменения.	Сложность при работе с информацией, предоставленной в виде векторной графики (чертежи);
	Избыточность информации.

Отталкиваясь из выполненных анализов, отмечу, что ощущается недостаток высококвалифицированных сотрудников, способных установить и поддерживать кибербезопасность цифровой сети. Многочисленные компании ТЭК никак не склонны являться «локомотивами» цифровизации и дожидаются возникновения успешных кейсов, реализованных в других компаниях, которые можно использовать в собственной деятельности и быть уверенными в результате.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Environmental Protection Agency. Subpart A—General Provisions. URL:<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2011-title40-vol1/pdf/CFR-2011-title40-vol1-part3-subpartA.pdf>;

2. Seth Gilbert and Nancy Lynch. Brewer's Conjecture and the Feasibility of Consistent, Available, Partition-Tolerant Web Services. URL:<https://doi.org/10.1145/564585.564601>;
3. Перспективы применения больших данных в строительстве. URL:[file:///C:/Users/erina/Downloads/elibrary\\_46320587\\_95143716.pdf](file:///C:/Users/erina/Downloads/elibrary_46320587_95143716.pdf);
4. Каган П.Б, Предоставление информации при проектировании, строительстве и эксплуатации линейных объектов инженерных коммуникационных сетей // Промышленное и гражданское строительство, 2017, стр. 16-19;
5. Лезерсон У., Риза С. Spark для профессионалов. Современные паттерны обработки больших данных. Санкт-Петербург: Издательский дом «Питер», 2017, стр. 272;
6. Цифровая экономика – различные пути к эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и другие) URL:[file:///C:/Users/erina/Downloads/tsifrovaya-ekonomika-razlichnye-puti-k-effektivnomu-primeneniyu-tehnologiy-bim-plm-cad-iot-smart-city-big-data-i-drugie%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/erina/Downloads/tsifrovaya-ekonomika-razlichnye-puti-k-effektivnomu-primeneniyu-tehnologiy-bim-plm-cad-iot-smart-city-big-data-i-drugie%20(1).pdf);
7. Куприяновский В.П., Синягов С.А., Конев А.В., Бадалов А.Ю., Богданов А.Г., Волков С.А., Энергетика, Smart Grid, интеллектуальные транспортные сети. Практические возможности в России //ArcReview №2, 2012.
8. Воронков И. Е., Усманов Т. А. Логистические технологии, используемые при возведении атомных электростанций // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 2. С. 49-56. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.02.49-56.
9. Tochilin A. V., Voronkov I. E., Alabin A. V. Experience and prospects of using robotics in the nuclear power industry //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021.Vol. 1047. №. 1. Pp. 012193. DOI:10.1088/1757-899X/1047/1/012193

## РАЗВИТИЕ АРХИТЕКТУРНОГО ОБЛИКА ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ СОВРЕМЕННОЙ УРБАНИСТИКИ

**Бурлуцкая К.Е.**

*студентка 1 курса магистратуры 19 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Воронков И.Е.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

### **Аннотация**

В статье рассматриваются вопросы оценки влияния тенденций современной урбанистики на объемно-планировочные и архитектурные решения объектов тепловой энергетики. Выявлено и проанализировано занимаемое место объектами теплоэнергетики в разрезе размеров отчуждаемой территорий в городской черте. Базируясь на актуальных трендах в области градостроительства, выделены основные отличительные особенности воздействия урбанистики на развитие нынешнего архитектурного облика теплоэлектростанций. Обобщая историю преобразования внешнего вида зданий электростанций и опираясь на информационные представления о влиянии градостроительных тенденций на городскую среду, выделены основные компоненты современного подхода к проектированию. Определены основные развивающиеся направления в трендах проектирования зданий и сооружений объектов теплоэнергетики, такие как общедоступность территорий электростанций, внедрение «зеленых» технологий, создание современных фасадных и объемно-планировочных решений зданий, находящихся в гармонии с окружающей городской застройкой, рациональное использование прилегающей территории электростанций.

**Ключевые слова:** энергетика, теплоэнергетика, архитектура, урбанистика, тенденции.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Теплоэнергетика, как составляющая топливно-энергетического комплекса, несомненно, считается одной из важнейших отраслей промышленности, направленной на обеспечение стабильного функционирования производительных сил и жизнедеятельности населения. Тенденции развития энергетики в России на текущий момент соответствуют общемировым: ориентированность на безопасный, устойчивый и эффективный переход к чистой энергетике. Однако, в ближайшие десятилетия полное переключение на

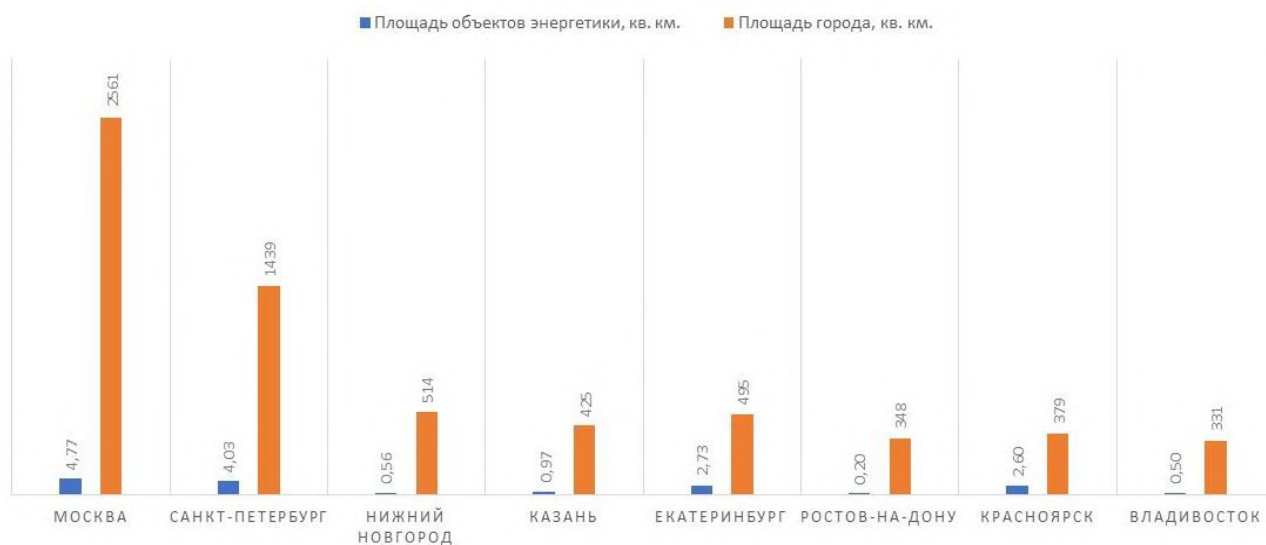
возобновляемые источники энергии невозможно ввиду различных аспектов экономики и промышленности, а также природно-климатических особенностей страны. Именно поэтому предлагается рассмотреть развитие теплоэнергетики как отрасли, обеспечивающей на текущий момент наибольший вклад в энергоснабжение России.

Во все времена архитектурно-градостроительный облик объектов теплоэнергетики менялся по мере развития отрасли: от появления первого простейшего энергетического оборудования до нынешних мощнейших установок, работающих на экологически чистом топливе. На протяжении веков архитектурные формы сооружений энергетики определялись особенностями технологического производства [1]. Стоит отметить, что долгое время отечественные архитекторы не уделяли должного внимания вопросам разработки принципиально новых обликов данных объектов, соответствующих духу времени и отражающих архитектурно-художественное влияние окружающей городской застройки со своим индивидуальным стилем и характером. В ближайшем будущем архитекторам стоит посмотреть на теплоэнергетику как на качественно новый, требующий соответствующего подхода, источник вдохновения, а не как на заурядную и традиционную отрасль промышленности [2].

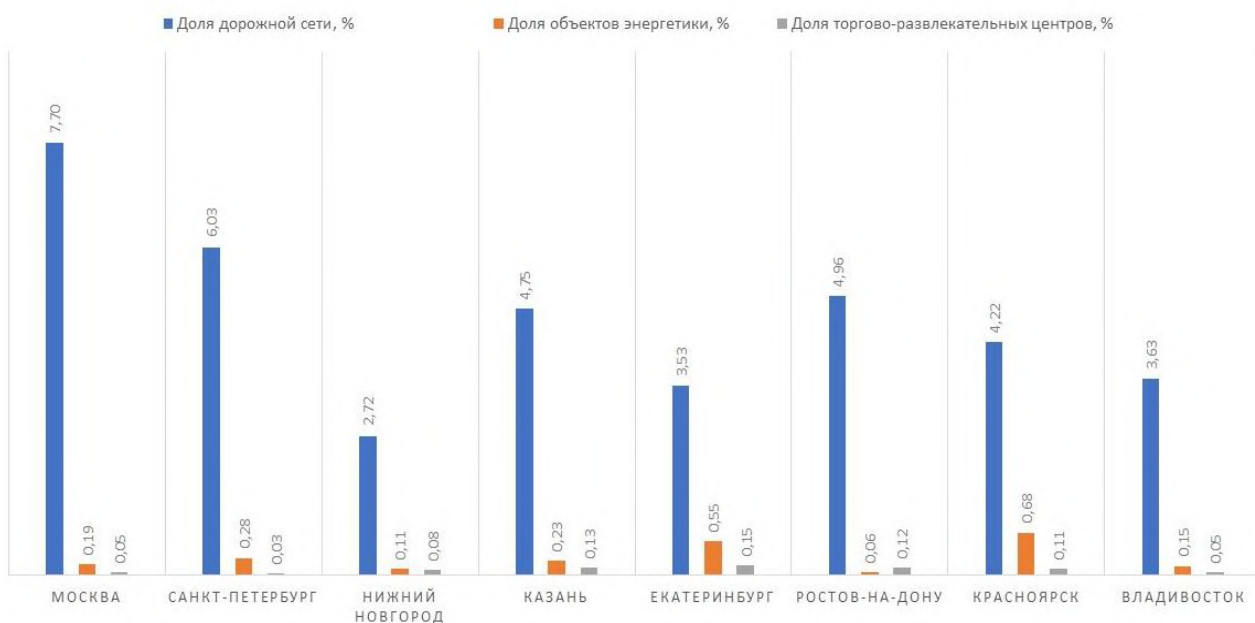
Актуальность рассматриваемой темы подтверждается тем, что объекты теплоэнергетики занимают далеко не последнее место в разрезе размеров отчуждаемой территории в городской черте. Проведя анализ среди нескольких крупных городов России, можно сделать вывод, что, например, торгово-развлекательные центры при значительно меньшей, относительно объектов энергетики, занимаемой площади, обладают более гармоничным внешним обликом в окружающей застройке и вписываются в современную городскую среду.

Для наглядности на диаграммах ниже продемонстрированы количественные характеристики долей городской площади, занимаемой инфраструктурными объектами.

## ПЛОЩАДИ ГОРОДОВ И ТЕРРИТОРИЙ, ЗАНИМАЕМЫХ ОБЪЕКТАМИ ЭНЕРГЕТИКИ



## ДОЛИ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ГОРОДСКОЙ ЦЕРТЕ



Основными трендами урбанистики на сегодняшний день в России являются экологичность, «зеленые» технологии, увеличение плотности городов и развитие транспортной системы.

Тенденция экологичности и развитие «зеленых» технологий направлены на формирование благоприятных, комфортных условий жизни для горожан и включает в себя мероприятия по уменьшению уровня шума и количества выбросов в атмосферу транспортом и промышленными предприятиями, уменьшению количества бытовых отходов и их переработке, увеличению площади зеленых насаждений и т.д. В процессе благоустройства территории, характеризующейся плотной застройкой, актуальным вариантом представляется

так называемое вертикальное озеленение. Совместно с монтажом экранов, защищающих жилую зону от шума, такое решение позволяет создать надежный экологический барьер. В результате происходит частичное восстановление экологической функции территории с плотной городской застройкой. Наглядным примером данной технологии является использование многофункциональной кровли или «зеленого» фасада [3].

Также на сегодняшний день сформировалось восприятие концепции компактного города как политики планирования и развития, позволяющей прийти к такой городской форме, которая способна обеспечить устойчивое развитие различных сфер жизнедеятельности города [4]. Любой город — крупный или малый, компактный по площади застроенных территорий, может прийти к модели разрастания, сопровождаемого удорожанием инфраструктуры: дорожных сетей, инженерных коммуникаций и т.д. Напротив, в городе с дисперсной (раздробленной) застройкой продуманная политика в сфере территориального планирования может приводить к уплотнению застройки и более эффективному использованию территориальных и экономических ресурсов [5].

Обеспечение необходимого уровня мобильности населения и технологических коммуникаций в промышленной сфере в больших городах становится все более сложным вопросом для городских администраций. Основная задача совершенствования транспортной системы — удовлетворение потребностей инновационного социально ориентированного развития экономики и общества в конкурентоспособных качественных транспортных услугах в таких областях, как повышение уровня развитости дорожно-транспортной инфраструктуры, общественного и личного транспорта, охраны окружающей среды и др. В разрезе объектов энергетики для достижения эффективности организационно технологических решений как при строительстве, так и при эксплуатации необходимо обеспечение своевременной реализации организационно-логистических процедур на протяжении всего жизненного цикла объектов, зависящих от уровня развитости логистической сети [6].

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В связи с необходимостью соответствовать нынешним тенденциям развития городов перед здчими формируется задача сочетания энергетических технологий и архитектурного произведения. На данный момент можно найти множество примеров, где на практике совмещены оба принципа. К примеру, нестандартные отделочные материалы или необычные архитектурные решения — это не просто дань моде, исключительно эстетические элементы, но и практически обусловленные технологические решения. Несомненно, гармоничное



единство эстетики, функциональности и энергетической эффективности представляется основополагающей тенденцией в современном промышленном, архитектурном дизайне. В роли примера рассмотрим следующие реализованные зарубежные проекты для дальнейшего анализа:

1) Тепловая станция Копенхил (Copenhill/Amager Bakke), Копенгаген, Дания, 2019 года постройки. Уникальность данного проекта заключается в том, что эта большая электростанция - не только промышленный объект, но и многопрофильное общественное пространство. Его кровля с одной стороны представляет собой круглогодичный искусственный горнолыжный склон, а с другой - обширный парк с тропинками для пеших прогулок, с высаженными зелеными насаждениями и хвойными деревьями. Гости комплекса поднимаются вверх по канатному и ленточному подъёмникам, а также на панорамном лифте, который обеспечивает обзор завода изнутри. Кроме того, на фасаде, выложенном алюминиевыми кирпичами высотой 1,2 метра и шириной 3,3 метра, предусмотрена самая большая в мире стена для скалолазания. В основании сооружения устроена ресторанный зона [7];

2) Тепловая электростанция Пауэрбарн (Powerbarn), Русси, Италия, 2019 года постройки. Станция необычна не только тем, что работает на биотопливе, но и своими архитектурными формами. Деревянные панели разных размеров фасада здания пересекаются под различными углами. Такой рисунок создает влияние на визуальное представление здания, которое изменяется в зависимости от точки зрения, освещения и времени суток. Облик здания, выполненный из дерева, выбран не случайно - в комбинации с металлическими деталями фасада деревянные панели символизируют возможность гармоничного соединения промышленного объекта с природным ландшафтом. Кроме того, данные панели отдают дань местному искусству ткачества. Решение архитекторов окружить участок общедоступными и естественными тропами вместо использования промышленных заборов тесно связано с желанием установить отношения открытости между станцией и окружающей его территорией;

3) Тепловая электростанция Лаусвард (Lausward), Дюссельдорф, Германия, 2016 года постройки. Фасад из стальных рам придает различным частям электростанции единую, всеобъемлющую оболочку. Высота и ширина отдельных элементов адаптируются к техническим установкам, заключенным внутри сооружения. Рамы и соединения между ними взаимодействуют таким образом, что создают силуэт линии горизонта, придающий электростанции ощущение идентичности. Ночью, когда стыки освещены, современную электростанцию, работающую на природном газе, можно увидеть издали, тем самым

продвигая имидж инновационного поставщика энергии. Имея необычные и притягивающие взгляды архитектурные формы, электростанция служит не только своему прямому назначению, но также включает в себя функцию смотровой площадкой для жителей и туристов [8].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Рассматривая то, как современная архитектура объектов энергетики влияет на облик городов, создавая наиболее комфортную и благополучную среду для жизнедеятельности населения, архитекторы, как правило, выбирают те формы и материалы, которые помогают объекту вписаться в стилистику местности и отражают актуальные веяния в градостроительстве, направленные на решение социальных, экономических и экологических проблем. А облик их фасадов отражает быстрый темп современных городов. Учитывая опыт отечественного строительства теплоэлектростанций, стоит отметить, что существует необходимость создания принципиально новых архитектурных обликов для будущих станций. Эти решения должны учитывать непрерывно меняющиеся тенденции в урбанистике, а также отвечать современным требованиям об экологичности и безопасности [9].

Исходя из рассмотренных примеров архитектурного опыта можно сделать заключение, что облик объектов энергетики меняется непрерывно и этот процесс происходит одновременно с обновлением трендов современной урбанистики. Общедоступность территории электростанций, внедрение «зеленых» технологий, создание современных фасадных и объемно-планировочных решений зданий, находящихся в гармонии с окружающей городской застройкой, рациональное использование территории электростанций — все это формирует новую реальность в мире объектов тепловой энергетики.

Рассуждая о теплоэнергетике, стоит иметь в виду, что это не просто определенный раздел энергетики. Это одна из фундаментальных основ современной человеческой цивилизации. Жизнь общества невозможно представить без централизованного снабжения населения различными видами энергии (тепловой, электрической и т. д.). В последние годы многие исследователи озабочены развивающимся во всем мире кризисом в энергетической сфере. В значительной степени это касается и проблем повышения энергетической эффективности при строительстве, обустройстве городской инфраструктуры. В течение многих десятилетий человечество практиковало изъятие природных ресурсов без оглядки на их восстановление. В результате назрели многочисленные экологические проблемы,

требующие незамедлительного решения. Широкое осознание важности бережного отношения к природе, в том числе в энергетическом плане, привело к изменению мировоззрения людей. Сегодня важна не только практическая ценность, функциональность архитектурных объектов, но и их эстетическая привлекательность. В связи с этим современные зодчие все больше обращают свое внимание на энергетику, совмещая передовые идеи дизайна, эстетики, технического совершенства и энергетической эффективности [10, 11].

## **ВЫВОДЫ**

Развитие архитектурного облика объектов энергетики напрямую зависит от мировых и отечественных тенденций градостроительства. Переход к стратегии экологичного развития городов выражается в использовании современных «зеленых» технологий, в применении новых экологически чистых материалов, в формировании актуальных подходов к реализации объектов энергетики. Рационально обоснованное планирование городской структуры, уплотнение застройки и эффективное проектирование инфраструктурных систем, таких как дорожно-транспортные сети и инженерные коммуникации, влияют на объемно-планировочные и функциональные решения объектов теплоэнергетики, а также позволяют поднять уровень и работоспособность технологических и логистических коммуникаций в промышленной области. Применение многофункциональных архитектурных и эксплуатационных решений позволит удовлетворить современные запросы на общедоступность городской инфраструктуры.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Морозенко А.А., Воронков И.Е. Повышение эффективности организационно - технологических решений при строительстве АЭС на основе современного российского и зарубежного опыта // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 10. С. 74–79.
2. Поляков И.А. Использование средств альтернативной энергетики при формировании художественного образа в архитектуре / И.А. Поляков, С.В. Ильвицкая // Международный электронный научно-образовательный журнал «АМИТ». – 1 (38). – М.: МАРХИ, 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://marhi.ru/AMIT/2017/1kvart17/index.php>.
3. Титов Е.В. Экология и архитектура: синтез и основные направления развития/ Е.В. Титов, О.В. Дмитриева// Научно-практический журнал «Вестник Университета

Правительства Москвы». – 1 (51). – М.: Университет правительства Москвы, 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/contents.asp?id=45631661>.

4. Воронков И.Е. Основы механизмов оценки надежности предприятий - участников инвестиционно-строительных проектов как элементов организационной структуры // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 2(113). С. 249-257. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.2.249-257

5. Головин А.В. Планирование разрастания. Пространственная политика городов России [Текст]: аналит. докл. / А.В. Головин, Т.В. Гудзь, Г.В. Витков и др. / при участии Р.В. Гончарова, Е.А. Котова, В.А. Молодцовой и др. — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. — 248 с.

6. Воронков И. Е., Усманов Т. А. Логистические технологии, используемые при возведении атомных электростанций // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 2. С. 49-56. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.02.49-56.

7. Топ 10 необычных промышленных зданий // ArchiTime, 2020. URL: [https://architime.ru/specarch/top\\_10\\_industrial\\_architecture/factory.htm](https://architime.ru/specarch/top_10_industrial_architecture/factory.htm) (дата обращения: 01.03.2022).

8. Электростанция Lausward // ArchDaily, 2016. URL: <https://www.archdaily.com/789269/lausward-power-plant-kadawittfeldarchitektur> (дата обращения: 01.03.2022).

9. Ефимов А.В. Мировые художественные течения и архитектурное творчество. Часть 1 / А.В. Ефимов // Международный электронный научно-образовательный журнал «АМИТ». – 3 (36). – М.: МАРХИ, 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://marhi.ru/AMIT/2016/3kvart16/efimov/abstract.php>.

10. Рябов А.В. Объекты альтернативной энергетики в современной архитектурной среде / А.В. Рябов // Международный электронный научно-образовательный журнал «АМИТ». – 1 (22). – М.: МАРХИ, 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://marhi.ru/AMIT/2017/1kvart17/index.php>.

11. Хохлов В.В., Бугаец А.А. Защита окружающей среды от негативных последствий хранения и переработки РАО В сборнике: ДНИ СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУКИ. Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института гидротехнического и энергетического строительства НИУ МГСУ. Москва, 2021. С. 355-363.

# МЕТОДЫ РЕАБИЛИТАЦИИ ГОРОДСКИХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ГОРОДОВ

*Хлебников С.К.<sup>1</sup>, Мельникова М.Д.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> студент 4 курса 61 группы ИСА НИУ МГСУ

<sup>2</sup> студентка 2-го курса факультета маркетинга РЭУ им. Г. В. Плеханова

**Научный консультант: Курочкина В.А.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры ИИиГЭ НИУ МГСУ*

## ВВЕДЕНИЕ

Реки являются неотъемлемой частью структуры и культуры большинства городов, влияющей на их пространственное развитие и экологическое состояние [1]. Они выполняют градообразующие, инженерные, экологические и рекреационные функции, осуществляют отвод поверхностного и дренажного стока.

В настоящее время общество приходит к осознанию необходимости восстановления, экологической реабилитации и поддержания максимально естественного состояния малых рек и их долин, особенно в таких больших городах, как Москва.

Под геоэкологической реабилитацией понимают систему мер по улучшению экологического состояния водного объекта и прилегающих к нему территорий. Комплексный подход к реабилитации заключается в выполнении работ по улучшению состояния объекта (очистка водного объекта и прибрежных территорий, увеличение биоразнообразия) и устранении причин деградации природной территории (создание ливневых коммуникаций с целью отвода дождевых вод, повышение качества поступающих сточных вод, организация водоохраных зон, укрепление берегов).

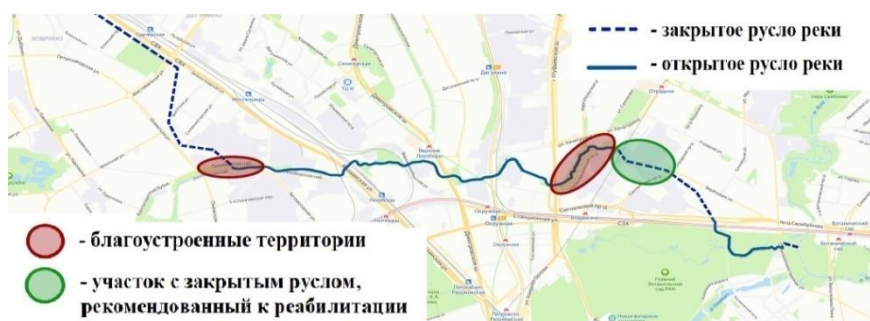
Так как под «восстановлением» понимается «возвращение в первоначальное состояние», то для водных объектов, расположенных на урбанизированных территориях более корректно применение именно термина «реабилитация», который подразумевает проведение мероприятий по улучшению состояния объекта и возвращению его в сферу хозяйственной деятельности [2].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С целью разработки концепции реабилитации малой реки Лихоборки было проведено рекогносцировочное обследование русла и пойменной территории (рис. 1). Обследования

проводились на участках от Онежской улицы до Сигнального проезда (включая участок р. Норишки – притока Лихоборки).

Исследуемая территория реки находится в СВАО г. Москвы. Река протекает через Головинский и Бескудниковский районы, а также районы Западное Дегунино и Отрадное. Русло исследуемого участка р. Лихоборки извилистое, протяженностью около 9 км с запада на восток. Ширина русла в среднем около 10 м (минимальная ширина – 5 м, максимальная – 22 м). Средняя скорость течения реки около 0,7-0,8 м/с. На участке исследования находятся: парк Отрада площадью около 1,2 га, экологический парк Лихоборка (уже не функционирует, находится в заброшенном состоянии), а также парк «Долина реки Лихоборки» с некоторым благоустройством на левом берегу участка реки Норишки. Река и пойменные территории находятся в неудовлетворительном состоянии, несмотря на то, что большая часть исследуемого участка должна была стать ООПТ «Долина реки Лихоборки» еще в 2010 году.



**Рисунок 1.** Картограмма участка исследования реки Лихоборки

Согласно почвенному районированию России на территории Москвы центральное место в почвенном покрове занимают дерновоподзолистые почвы [3]. Почвенный покров поймы р. Лихоборка в процессе хозяйственного использования частично был трансформирован и утрачен. Местами прослеживается планирование пойменной территории, выполненное с использованием насыпных грунтов с включениями строительного мусора. Также при обследовании были выявлены развивающиеся геологические и инженерно-геологические процессы, в том числе эрозионные процессы в пойме реки и оползневые на правом берегу, отличающемся крутым склоном (уклон местами превышает 60°). Также наблюдается местное заболачивание пойменных территорий на участке парка Отрада (рис. 2).



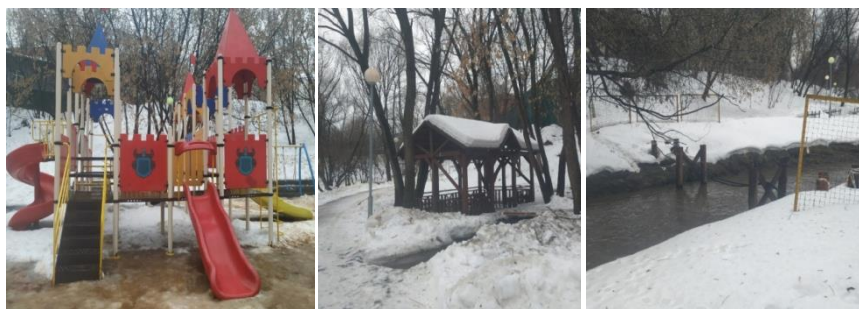
**Рисунок 2.** Участки проявления инженерно-геологических процессов

Растительный покров представлен различными типами пойменных лугов. Среди древесной растительности наиболее часто встречаются ивняки и ольшаники, а также клен ясенелистный. Фауна представлена видами, толерантными к антропогенному воздействию. Так при обследовании обнаружено большое скопление крякв на нескольких участках реки, а также несколько пар огарей (рис. 3). Многочисленным и повсеместными являются сизый голубь, серая ворона, большая синица и домовый воробей. Обнаруженная в заброшенном экологическом парке Лихоборка ловушка (предположительно для рыбы) свидетельствует о наличии в реке рыбы средних размеров.



**Рисунок 3.** Представители фауны

На благоустроенных участках (парк Отрада и участок парка "Долина реки Лихоборки") находятся различные объекты социальной инфраструктуры, включая детские и спортивные площадки, а также места для отдыха. Также возведено несколько пешеходных мостов и оборудованы водосточные системы для отведения поверхностных вод. Однако в настоящее время некоторые объекты находятся в частично разрушенном состоянии и не функционируют (рис. 4). Требуется провести восстановительные работы для разрушенного моста, систем водоотведения и частично нефункционирующего вечернего освещения.



**Рисунок 4.** Объекты социальной инфраструктуры с разным износом

Общее состояние реки Лихоборки предварительно оценено как неудовлетворительное и требующее реабилитации. Лихоборка обладает большим рекреационным потенциалом, однако действия по ее облагораживанию и причислению пойменной территории реки к ООПТ так и не были завершены в 2010-х годах. При реабилитации участков реки с открытым руслом необходимо решить проблемы переноса ЛЭП и прочих инженерных сетей. Также необходимо провести работы по очистке русла и пойменных территорий, а также дноуглубительные и берегоукрепительные работы. Помимо этого необходима организация очистных сооружений для очистки поверхностного стока или прокладка канализации для отведения поверхностного стока с каждого берега. Перечисленные мероприятия значительно повысят качество воды в Лихоборке и повысят привлекательность природной территории у населения прилегающих районов [4].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Говоря о восстановлении малых рек на урбанизированной территории, авторы подразумевают искусственно созданное русло реки. В условиях города объективно невозможно обеспечить условия существования водного объекта такие же, как в ненарушенной природе, поэтому применительно к городским водным объектам даже появился и закрепился в специальной литературе термин «природоприближенное состояние» [5].

Закрытое русло, заключенное в коллектор не может выполнять никакие экологические функции реки помимо переноса воды. При восстановлении открытых русел рек можно выделить два пути развития территории:

- 1) Создание искусственного открытого русла (укрепленного бетоном канала). В этом случае река участвует в регулировании городского климата и повышает качество окружающей среды, однако питание реки не возможно за счет грунтовых вод, а за счет низкой дренажной способности остается угроза подтопления. Преимуществом такого решения является отсутствие возможности самостоятельного мигрирования русла реки.



2) Создание естественного (природоприближенного) русла. Река может стать центром природной экосистемы, развивающейся в зеленом общественном пространстве. Повышается биоразнообразие, качество окружающей среды, восстанавливается естественный гидрологический цикл, за счет возросшей дренажной способности реки и пойменных территорий, реки лучше справляются с угрозами подтоплений. Питание реки становится возможным не только за счет притоков, но и грунтовыми водами. А также наблюдается самоочищение реки за счет процессов фиторемедиации, воздействия солнечного света, воздуха и почв.

Важную роль при выборе пути реорганизации играет плотность застройки. Второй метод более предпочтителен, но осуществим только при наличии значительной территории между руслом реки и городской застройкой. Наибольшим потенциалом для реабилитации обладают закрытые русла, расположенные под неэксплуатируемыми промзонами, на их территории возможна организация зеленых общественных пространств, при этом проведение работ не будет затруднять привычную жизнь города.

Для первичной оценки рентабельности проекта можно выделить ряд его преимуществ и недостатков. Их сопоставление позволяет определить необходимость восстановления водного объекта.

К положительным факторам можно отнести потенциальную пользу от реализации проекта:

- Повышение качества социальной среды;
- Улучшение экологического состояния объекта (восстановление биоразнообразия, гидрологического цикла, процессов самоочищения воды в реках);
- Регулирование климата прилегающих районов;
- Повышается привлекательность и ценность прилегающих территорий, жилой застройки, стимулируется инвестиционная и деловая активность.

К отрицательным факторам - потенциальные затраты и проблемы, требующие решений при реализации проекта:

- Необходима очистка воды (размещение очистных сооружений в условиях плотной городской застройки);
- Необходимо регулировать речной сток (методы повышения полноводности и предупреждения сезонных подтоплений);
- Изъятие полезной территории города (если коллектор расположен под улицей, бульваром, площадью и т.д.);

- Затраты на работы по открытию русла реки или его части, включая при необходимости перемещении коммуникаций и инженерных систем города.

## **ВЫВОДЫ**

Реабилитация водных объектов и окружающих их природных территорий является неотъемлемой частью их комплексного использования. При этом важно, чтобы процесс восстановления развивался не стихийно, а был подчинен единой методологической концепции по восстановлению водных объектов с прилегающими природными территориями.

При разработке проектов по восстановлению малых водных объектов со средней или высокой степенью техногенной трансформации [5] важно изучить причины, по которым река (или ее участки) была заключена в коллектор. Это позволяет спрогнозировать потенциальные проблемы при восстановлении открытого русла, требующие своевременного решения на этапе проектирования. В результате оценки рисков и затрат, связанных с открытием рек или их участков, могут быть приняты следующие решения:

1. Открывать русло нет смысла. Это повлечет неоправданно высокие затраты, а причины заключения реки или рассматриваемого участка в коллектор не потеряли актуальность;

2. Можно открыть русло, и это не вызовет никаких проблем. Река или ее часть была заключена в коллектор ошибочно или с целью получения дополнительной «полезной» площади для города в период активной урбанизации.

3. Открытие реки возможно, однако необходимо решать возникшие при этом проблемы, которые решались коллектором. Это влечет большие затраты, но не превышающие пользу от реализации проекта. Необходимо обустройство берегов, плотин, очистных сооружений. Река и окружающая ее территория должна стать управляемой природно-технической системой (ПТС).

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Янковская Ю.С., Андреева Ю.К. Кострома – формирование градостроительной идентичности: город и река, история и современность. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2018. №4(45). 314–328.

2. Попов А. Н. Концептуальные основы реабилитации поверхностных водных объектов / А.Н. Попов, Г.А. Оболдина, Н.Б. Прохорова // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. –2017.–№ 4.–С. 4-17.

3. Добровольский Г.В., Шоба С. А., Балабко П. Н. и др. Деградация и охрана почв [Монография]/Под ред. Г. В. Добровольского; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. Фак. почвоведения МГУ. Ин-т почвоведения МГУ-РАН. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002 (Тип. Россельхозакадемии). – 651 с.

4. Курочкина, В. А. Влияние городских водных объектов на структуру открытых общественных пространств / В. А. Курочкина, С. К. Хлебников, М. Д. Мельникова, И. А. Сметанин // Вестник евразийской науки. — 2021. — Т. 13. — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/18NZVN521.pdf> DOI: 10.15862/18NZVN521.

5. Курочкина В.А. Водные объекты как основа организации открытых общественных пространств и инструмент трансформации урбосистем // Вестник Евразийской науки, 2020 №5, <https://esj.today/PDF/63SAVN520.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/63SAVN520.

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА НА СМБ, ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ АЭС В УЗБЕКИСТАНЕ

**Фасхутдинов Б.Р.**

*студент 4 курса 6 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Кабанов А.С.**

*преподаватель кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

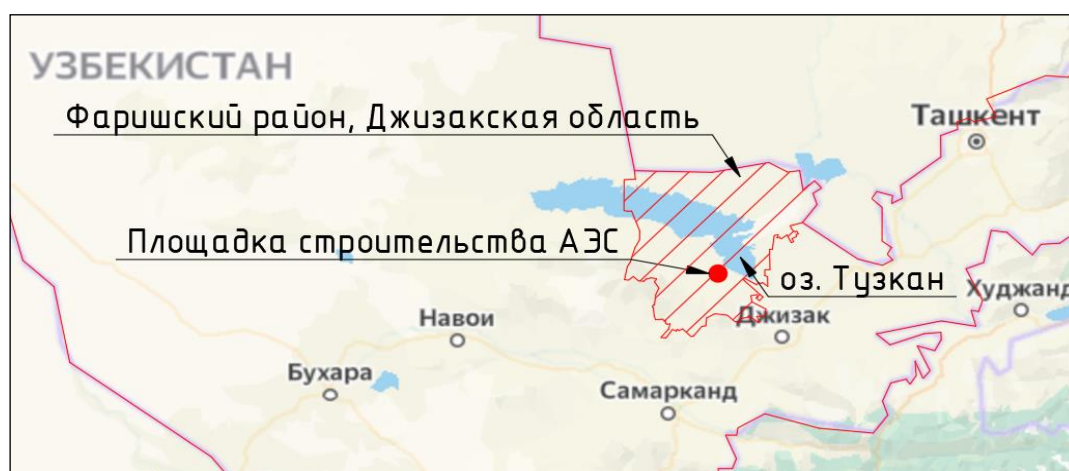
**Аннотация.** Подготовительный этап при строительстве АЭС очень важен, зачастую он занимает 2-3 года и включает в себя выбор площадки строительства. Это очень трудный процесс, необходимо учитывать множество факторов: рельеф, климат, инфраструктура и природные ресурсы района, удаленность от потребителей энергии, городов и т.д. Поэтому каждая площадка получается уникальной

**Ключевые слова:** строительно-монтажная база; АЭС; Узбекистан; инфраструктура.

## ВВЕДЕНИЕ

В 2017 году между правительствами России и Узбекистана было заключено соглашение о строительстве первой АЭС в Узбекистане, в дальнейшем была определена площадка строительства в Джизакской области в Фаришском районе около озера Тузкан, воду из которого планируется использовать для охлаждения реакторов (Рис. 1).

Планируется построить АЭС из двух энергоблоков с реакторами ВВЭР-1200, общая мощность АЭС - 2,4 ГВт, что будет составлять от 15 до 30 % всей вырабатываемой электроэнергии в Узбекистане, площадка выбиралась с возможностью расширения АЭС до 4-х энергоблоков



**Рисунок 1** - Карта Фаришского района с местом расположения площадки для АЭС.

## **ПЛАН РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА**

Определен план реализации проекта:

2019-2020 годы – выбор площадки и лицензирование размещения АЭС;

2020-2022 годы – Проектирование АЭС и объектов внешней инфраструктуры;

2022-2030 годы – Строительство и ввод в эксплуатацию АЭС.

На данный момент проект находится в стадии проектирования самой станции и строительной-монтажной базы для ее постройки, но есть макет на котором построен возможный конечный вид станции (Рис 2)



**Рисунок 2** - Макет АЭС в Узбекистане.

## **ВНЕШНЯЯ ИНФРАСТРУКТУРА**

Объекты внешней инфраструктуры представляют собой имеющиеся складские помещения, заводы, карьеры, рудные шахты и другие производства, уже имеющиеся вблизи района строительства и которые могут быть использованы для возведения АЭС, а также строительную-монтажную базу, создание которой подразумевает Российский подход к строительству АЭС и используемой для непрерывного обеспечения всех строительных процессов необходимыми материалами, конструкциями и т.д.

Строительные-монтажные базы разнятся от проекта к проекту. Все потому что ее вид и состав зависит от объемов выполняемых работ, климатических условий, рельефа площадки и уже имеющейся инфраструктуры в районе строительства.

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МОЩНОСТИ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА

Чтобы дать оценку влияния инфраструктуры района строительства на строительномонтажную базу под АЭС в Узбекистане, необходимо проанализировать имеющиеся производственные мощности в радиусе 200 км от площадки строительства.

Промышленность района представлена производством строительных материалов, пластмассовых изделий, очистке хлопка, действует рыбоперерабатывающий и аккумуляторный заводы. В области есть большое количество шахт, в которых добываются полиметаллические руды, содержащие свинец, цинк, железо; а также сырьё для изготовления извести и известняк.

Теперь разберем отдельные инфраструктуры, которые могут быть полезны в строительстве АЭС (Рис 3 и Рис 4):

На расстоянии 22 км проходит двухполосная автомобильная дорога 4Р36, которая имеет связь со всеми городами Узбекистана.

На расстоянии 6 км находится тупиковая железная дорога;

На расстоянии 60 км находится город Джизак с населением 180 тыс. чел.

На расстоянии 180 км находится город Ташкент с населением 2 400 тыс. чел.

На расстоянии 110 км находится город Самарканд с населением 500 тыс. чел.

На расстоянии 170 км находится Навойский горно-металлургический комбинат, который может обеспечить поставки щебня и кварцевого песка.

Строительные смеси можно закупать в городах Ташкент и Самарканд у таких предприятий как: Samarkand Cement, Zarafshon grand savdo, БЖН, Накишбандий Элита Курулиш, (с одноименным названием) Цемент, УзМИС АО, Standart Cement, Уткир ЧПКФ. Все эти предприятия находятся вдоль железной дороги, что облегчит доставку материалов до строительномонтажной базы.

Строительную арматуру можно закупать у заводов в Ташкенте: Burgazstroyservis, Теплый мир, Металлинвест, Basalt, Imorat, Univarsal Frp System. Все заводы также находятся вблизи железной дороги, по которой арматура и будет доставлена к строительномонтажной базе.

Джуминский песчаный карьер и Китабский песчано-гравийный завод могут обеспечить поставки песка и гравия в достаточном количестве.

Для изготовления железобетонных изделий, можно использовать заводы в Ташкенте: Insof, Бетон завод, ЖБИ 2, Rws Optium, ЖБИ №1, Ташкентский завод ЖБИ №5.

Все заводы, о которых сказано выше, выпускают качественную сертифицированную продукцию, однако продукцию не каждого завода можно использовать в возведении

атомных электростанций, поэтому для восполнения мощностей производств СМБ должна быть крупной и самодостаточной.



Рисунок 3 - Имеющиеся дороги вблизи площадки строительства

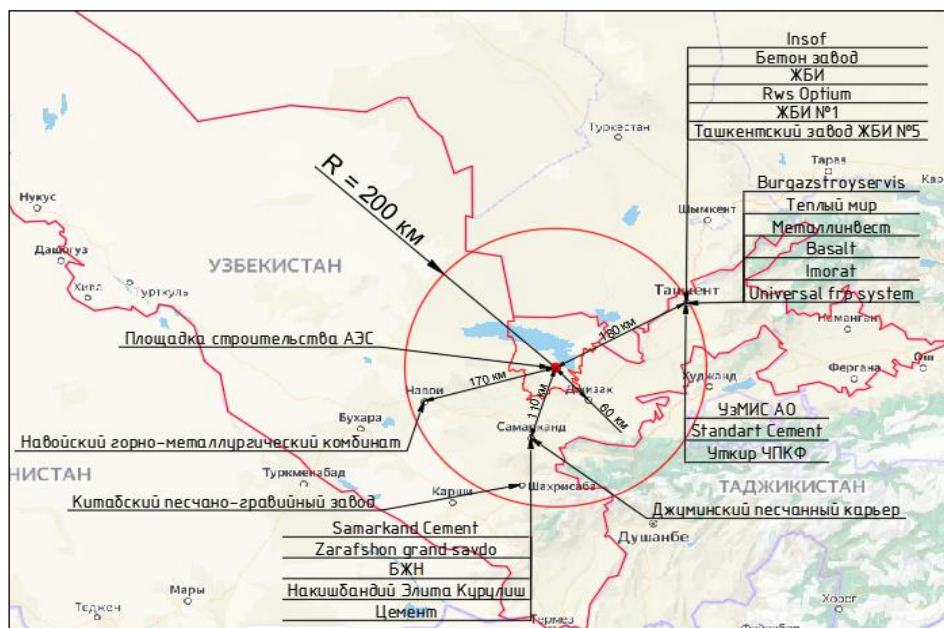


Рисунок 4 - Инфраструктура района строительства в радиусе 200 км.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА НА СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНУЮ БАЗУ

Анализируя полученные данные об инфраструктуре района строительства можно сделать такие выводы:

Близкое расположение к одной из веток железной дороги позволит относительно быстро доставлять крупногабаритные грузы и большие объемы материалов к строительной-монтажной базе.

Автомобильная дорога находится в относительной удаленности от площадки строительства, но связь с ней крайне необходима, поэтому расходы на строительство дороги возрастут

АЭС находится в непосредственной близости от озера Тузкан, которое в свою очередь связывается с озером Айдаркуль, однако в возведении пирса нет смысла, так как все материалы будет удобнее доставить автомобильным или железнодорожным транспортом

Большое свободное пространство и плоский рельеф местности позволяет расположить СМБ максимально выгодно и выполнить ее в виде прямоугольника, что положительно скажется на логистике и скорости возведения как самой СМБ, так и АЭС.

В силу большой удаленности большинства производств от места строительства, увеличатся площади складов на строительном-монтажной базе.

Использование железной дороги говорит о необходимости постройки разгрузочных устройств и депо в пределах СМБ, а также подведения самой железной дороги к СМБ.

В следствии удаленного расположения заводов по производству бетона, необходимо устройство Бетонно-растворного хозяйства на территории СМБ, для обеспечения необходимых мощностей на протяжении всего строительства АЭС.

Для подготовки высококвалифицированных специалистов в области ядерной физики и в том числе для нужд энергетики, был учрежден филиал МИФИ в Ташкенте

Некоторых рабочих можно обеспечить жильем на территории города Джизак. Город находится на расстоянии 60 км от площадки строительства, поэтому больших проблем со временем доставки их до площадки не возникнет. Таким образом размеры строй городка можно уменьшить и что важнее сделать его капитальным, чтобы оставить как жилье для персонала АЭС

## **ВЫВОДЫ**

Рассмотрев все полученные данные, можно сделать такие предположения: СМБ будет находится в плотную к площадке строительства АЭС, СМБ будет крупной и самодостаточной, примерная занимаемая площадь составит 82 Га. На территории СМБ должны быть такие сооружения как: депо, разгрузочное устройство, бетонно-растворное хозяйство, арматурный цех, стоянка спецтехники, укрупнительно-сборочная площадка, АБК, лаборатории. Недалеко от СМБ будет необходимо строительство строй городка. Строительно-монтажную базу лучше выполнить с расчетом на дальнейшее использование, как для возможного расширения АЭС до 4-х энергоблоков, так и для поднятия промышленности Джизакской области с созданием дополнительных рабочих мест.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубровский В.Б., Лавданский П.А., Енговатов И.А./ Строительство атомных электростанций ISBN 978-5-93-431-2
2. А.А. Морозенко, В.В. Белов, А.С. Кабанов / Организационно-технологические и компоновочные решения строительного-монтажной базы АЭС : учебное пособие; М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. – Москва : Издательство МИСИ-МГСУ, 2019.
3. Аблаева У.Ш. / Технологические методы улучшения долговечности бетонов в условиях сухого и жаркого климата Узбекистана. УДК 693.547.6
4. Бутенко Е. А. / Организация городского строительства. Курс лекций по дисциплине «Технология и организация в городском строительстве» В трех частях Части II и III. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. УДК 69.05(075.8)
5. Теличенко В.И. / Организация и технология строительства атомных станций. УДК 69.05. 2012

# ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕТРОПАРКОВ В РАМКАХ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ НА ЭКОЛОГИЮ

**Жарков И.Г.**

*студент 4 курса 3 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Субботин А.С.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

**Аннотация.** Рост потребителей электроэнергии подталкивает к строительству новых возобновляемых источников энергии. Одним из них является энергия ветра. Но даже самый экологически чистый источник электроэнергии, так или иначе, оказывает воздействие на экологию. Особенности организации строительства ветропарков связаны с использованием огромных площадей для строительства будущих объектов с применением особых технологий строительства, новых механизмов и их комбинаций, минимизацией негативного воздействия на окружающую среду, использованием новых материалов, а также удаленности от инфраструктуры.

**Ключевые слова:** ветропарк, организация строительства, строительная техника.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Вектор развития мировой экономики направлен на поиск источников энергии, позволяющих минимизировать воздействие на климат. В части альтернативной энергии рассматривается строительство ветропарков, рациональное использование которых позволит значительно сократить выброс CO<sub>2</sub> в атмосферу. Известно, что запасы ветровой энергии использованы крайне мало, по сравнению с их огромным потенциалом. В связи с этим, строительство ветряков является актуальной темой.

Основной задачей является эффективная организация строительства ветропарков с применением современных технологий и соблюдением особых требований, предъявляемых ко всем этапам строительства.

### **Строительство ветропарков.**

#### **Анализ рациональности использования ветропарков как источника альтернативной энергии**

В 2015 году было заключено международное Парижское соглашение, провозгласившее достижение нулевых выбросов углекислого газа в атмосферу к 2050 году. Одним из решений данной проблемы является переход человечества от использования традиционных

источников энергии к альтернативным. Некоторые страны уже начали этот переход. На данный момент Норвегия почти полностью получает электроэнергию из возобновляемых источников: 95% от гидроэлектростанций, а остальное – от ветроустановок. Несмотря на то, что транспорт электрифицирован лишь частично, количество электромобилей в стране растет[4].

Существует несколько видов возобновляемой электроэнергии: биоэнергия, энергия воды, энергия воздуха, энергия солнца и т.д. Каждый из них имеет свои плюсы и свои минусы, а также разное количество вырабатываемой энергии.

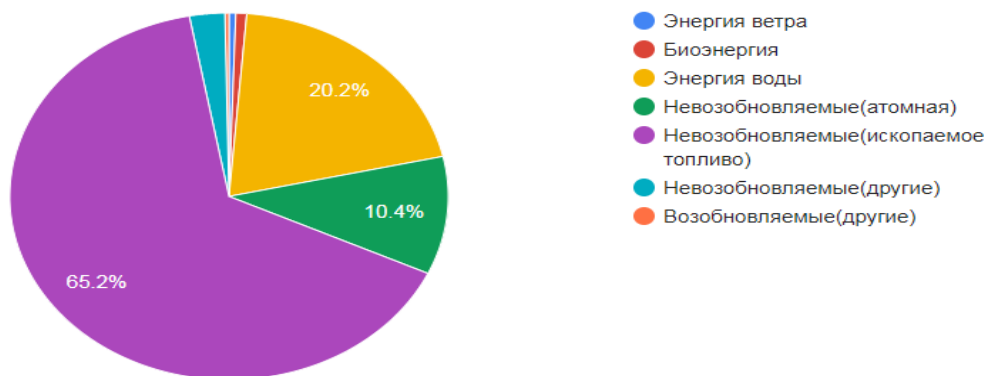
Самый широко используемый возобновляемый источник энергии – это вода. Гидроэлектростанции расположены по всему миру и занимают 2 место по количеству производимой энергии, сразу после атомных электростанций (17%). Проблема заключается в том, что гидротехнический потенциал стран мира в наше время задействован почти полностью. В европейской части России, например, использование гидроэнергетических сооружений достигло 50% и в при этом их экономический потенциал почти полностью исчерпан.

Принципиальной особенностью солнечной энергии являются огромные потенциальные ресурсы, но она имеет много минусов и нерешенных проблем. Солнечная электростанция не работает ночью, плохо работает в сумерках. Для компенсации этих недостатков необходимо либо использовать эффективные электрические аккумуляторы (что на данный момент является нерешенной проблемой), либо возводить гидроаккумулирующие станции, что также является проблемой из-за большой занимаемой территории. Среднесуточная интенсивность солнечного излучения в средней полосе России, например, составляет 150 Вт/м<sup>2</sup>, что в 1000 раз меньше тепловых потоков в котлах ТЭС.

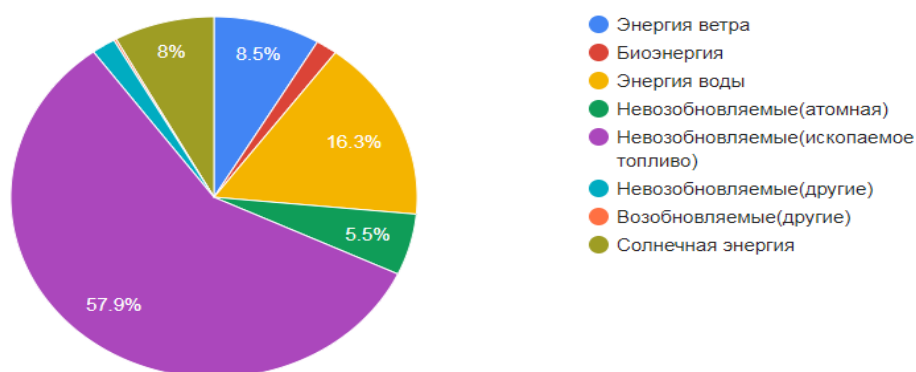
Некоторые страны уже длительное время активно используют энергию ветра. Около 20% электроэнергии Дании вырабатывается таким образом. Также, запасы энергии ветра более чем в 100 раз превышают запасы гидроэнергии всех рек Земли.

Минусом ветровой энергетики является ее нерегулируемость. Основным источником энергии является ветер, фактор, который отличается большой нестабильностью. Соответственно, значительное введение ветроэнергетики в энергосистему может привести к ее дестабилизации. Строительство ветропарков усложняется также необходимостью изготовления лопастей турбин больших размеров (до 125 метров), огромным шумом, исходящим от установок, возможным созданием помех как воздушного, так и радиосообщения[1,2,4,5].

Несмотря на большое количество минусов, по диаграммам видно, что за 19 лет количество энергии, вырабатываемое ветряками во всем мире, значительно выросло, что говорит о том, что люди заинтересованы в строительстве ветропарков и их количество в ближайшее время только возрастет.



**Рисунок 1.** Диаграмма глобальной выработки электроэнергии за 2000 год



**Рисунок 2.** Диаграмма глобальной выработки электроэнергии за 2019 год

### Особенности организации строительства ветропарков

“Жизненный цикл” ветропарка, как и любого другого объекта, состоит из определенных этапов:

- 1) Предпроектный этап
- 2) Проектный этап
- 3) Строительство объекта
- 4) Эксплуатация
- 5) Вывод из эксплуатации

В первую очередь производится анализ метеорологических данных, собранных с территории будущего строительства. Необходимо собрать: метеорологические данные, полученные в результате мониторинга с помощью специального оборудования; максимальные значения порывов ветра; значения скорости ветра с периодом повторяемости 1 год и 50 лет; частота повторяемости и средние значения за месяц, сезон и год. Это поможет рассчитать объемы выработки энергии и объем энергопотребления. В среднем, скорость ветра должна превышать 25 км/ч для эффективной работы ветряной установки.

Исходя из данных, собранных перед строительством, подбираются оптимальные габариты турбин, которые будут способны вырабатывать необходимое количество электроэнергии при данных скоростях ветра.

Это можно назвать ключевым моментом при подготовке к строительству ветрогенератора. Одни турбины эффективны при низких скоростях ветра, другие предназначены для более устойчивых ветровых режимов. Правильный подбор оборудования на этом этапе обеспечит наиболее эффективную выработку энергии[8,10].

Для подобранной турбины изготавливаются лопасти из полимерного композита. Стоит отметить, что данный материал приносит определенные проблемы на этапе вывода из эксплуатации, т.к его утилизация заключается в засыпании лопастей под землю, что оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Поэтому уже сейчас фирмы начинают выпускать первые партии лопастей для ветряных турбин из перерабатываемых материалов[11,12].

Площадки для размещения ветропарков должны быть выбраны исходя из определенных требований. Территория строительства должна находиться за пределами архитектурных памятников, заповедников, заказников, мест гнездования птиц и путей их миграции, а так же исключая возможность негативного воздействия объектов на обитателей заповедных территорий. Площадка выбирается с учетом данных ветрового кадастра. Также, место размещения ветропарка должно согласовываться с землевладельцами. В случае расположения электростанций на их земле, должна быть предусмотрена денежная компенсация. Стоит учитывать, что ветропарки занимают огромные площади, достигающие сотни гектаров[6,8,9].

Учитывается близость выбранного места строительства к существующим линиям электропередач. Линии высокого напряжения могут стоить тысячи долларов за милю, поэтому при возможности, наличие и доступ к существующим линиям стоит учитывать при выборе участка[7].

В состав сооружений ветропарка должны входить:

- Ветроэнергетические установки
- Метеорологическая мачта с оборудованием
- Объекты выдачи мощности
- Здания и сооружения, в том числе подъездные дороги.

Дороги и подъездные пути должны соответствовать четким требованиям, касающимся несущей способности, устойчивости откосов и т.д. Тяжелый транспорт должен без каких-либо проблем добраться до места расположения ветряных турбин. Одними из основных критериев, предъявляемых к дорогам, являются ширина и радиус кривизны. Это связано с огромными габаритами лопастей, которые зачастую превышают 50 метров.

Отдельное требование предъявляется к уклону дорог. Максимальный уклон дорог составляет около 14-17% [3,8,15].

Также на территории необходимо предусматривать:

- Основное здание электростанции
- Систему противопожарного водоснабжения
- Сооружения для хранения противопожарных средств
- Инженерные коммуникации

Каждая ветровая установка должна выполняться отдельно стоящей и иметь свои вспомогательные здания и сооружения, в то время как сами вспомогательные здания в целях целесообразности могут совмещаться вне зависимости от выполняемых функций. План размещения ветроэнергетических установок выполняется с учетом топографических особенностей площадки и с учетом розы ветров. Каналы для прокладки кабелей и трубопроводов электростанцией должны перекрываться защитными плитами или щитами, устанавливаемыми в 2 слоя под землей [3,16].

В состав оборудования ветроэнергетических установок входят:

- 1) Энергетическое оборудование (ветроагрегат с ветроколесом)
- 2) Электротехническое оборудование

Конструкция электрической системы должна соответствовать всем требованиям безопасности для людей и животных

- 3) Механическое и грузоподъемное оборудование

Для монтажа ветрогенераторов используются 2 крана: один для перемещения оборудования, а второй для удержания компонентов в момент сборки.

Один из кранов, основной, отвечает за перенос оборудования на протяжении всего процесса сборки ветрогенератора. Второй, вспомогательный, используется для удержания монтируемого компонента в момент сборки. Это необходимо для того, чтобы основной кран

мог перевести монтируемую часть ветряка из горизонтального положения (на платформе) в вертикальное (в положение монтажа)[3,14].

- 4) Устройства системы безопасности
- 5) Вспомогательное оборудование
- 6) Средства автоматизации и связи
- 7) Средства эксплуатации и ремонта
- 8) Системы жизнеобеспечения объекта

Конструкцией ветряков должна быть предусмотрена защита от ударов молний посредством установки молниеотводов.

Выделяющейся особенностью данного источника альтернативной энергии является то, что несмотря на огромную площадь, занимаемую ветряками, сами установки занимают только 1% территории. Остальные 99% используются для сельскохозяйственных нужд. Непосредственно к строительству относится лишь возведение фундаментов под ветрогенераторы, а значит вся остальная территория остается нетронутой[7].

### **Стоимость строительства ветропарка**

В последние годы наблюдается снижение финансирования ветровой энергетики. Но это связано не со снижением интереса ветровым генераторам, а с уменьшением цен на их строительство.

Европейская организация ветроэнергетики WindEurope привела данные о примерной стоимости строительства ветряной электростанции. Основываясь на их сведения, можно заметить, что с каждым годом наблюдается все большее снижение стоимости инвестиций в ветропарки. По их подсчетам, стоимость строительства ветропарка в наше время составит примерно 1,4 миллиона евро за 1 мегаватт установленной мощности, в то время как в 2015 году это обошлось бы в 2 миллиона евро. Стоимость ветряков снижается во всем мире.

Только за этот год в ЕС были приняты окончательные инвестиции в строительство ветропарков суммарной мощностью 12,5 ГВт. Очевидно, что популярность таких электростанций будет только расти со временем по мере того как технологии их строительства будут становиться дешевле и доступнее[13, 17].

### **Опыт других стран по сравнению с российским.**

Сильнее всего, по сравнению с другими государствами, по установленной мощности ветряных электростанций, вырывается Китай. В 2020 году мощность почти достигла 300000 МВт. Ветряки можно увидеть повсюду, начиная от малых, расположенных на фонарных столбах, заканчивая огромными ветропарками[3].

Британская компания Ember представила доклад, в котором подводятся итоги деятельности европейской электроэнергетики в первом полугодии текущего года. Авторы отмечают, что впервые за всю историю на основе возобновляемых источников энергии (солнце, ветер, вода) за полугодовой период было выработано больше электроэнергии, чем на основе ископаемого топлива. Доля ВИЭ в генерации составила 40%, а ископаемого топлива 34%[13].

Первый ветропарк в стране летом 2017 года начала строить компания «Фортум», его запуск был осуществлен в конце 2017 года, а с января 2018 года ВЭС включена в реестр мощности[2].

В настоящее время в России также строятся четыре ветропарка в Ростовской области, Ставропольском крае и Республике Калмыкия. Их запуск запланирован на 2021 год[2].

Одним из самых интересных проектов в области ветровой энергетики России сейчас является строительство Кольской ВЭС – единственной, которая будет построена не на юге России, а в Мурманской области и претендующая на звание самой большой ВЭС за полярным кругом[2].

Россия только начинает осваивать этот вид энергетики. На момент 2021 года суммарная мощность проектов ветроэлектростанций насчитывает 1700 МВт, отставая от многих других стран, не говоря о таких гигантах в ветроэнергетике как Китай или США[2].

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Несмотря на сложность строительства ветропарков и особые условия, необходимые для их возведения, спрос на них с каждым годом растет. Методы организации строительства постоянно обновляются и улучшаются, все больше подстраиваясь непосредственно под данную отрасль, что значительно повышает качество последующего строительства и приводит к снижению его стоимости.

Развитие технологий в ветровой энергетике позволяет снижать даже то минимальное негативное воздействие на окружающую среду, которое оно способно оказывать. Со временем, этот источник энергии будет занимать все большую часть мировой энергетики, учитывая планы государств и выделяемые средства на строительство ветровых установок.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Возобновляемые источники энергии, <https://energy.hse.ru/Wiie>, дата обращения 10.10.2021
2. Безруких П.П. Экономические проблемы нетрадиционной энергетики/Энергия: Экон., техн., экол. 1995. №8



3. Строительство ветряной электростанции, <https://esfccompany.com/services/vetryanye-elektrostantsii/stroitelstvo-vetryanykh-elektrostantsiy/>, дата обращения 09.10.2021
4. Ветер и электрификация всей Норвегии <https://bellona.ru/2020/02/25/veter-i-elektifikatsiya-vsej-norvegii/>, дата обращения 09.10.2021
5. Безруких, П.П. Ветроэнергетика. / П.П. Безруких. - М.: Энергия, 2010. - 320 с.
6. [https://www.agmrc.org/media/cms/10stwf\\_fs\\_8EF50C47B61F5.pdf](https://www.agmrc.org/media/cms/10stwf_fs_8EF50C47B61F5.pdf), дата обращения 14.10.2021
7. <https://www.tacticalprojectmanager.com/wind-turbine-construction>, дата обращения 14.10.2021
8. СТО 70238424.27.100.059-2009, дата обращения 12.10.2021
9. Lütkehus, I.; Salecker, H. Onshore Wind Energy Potential in Germany Current study by the Federal Environment Agency on the nationwide area and output potential. *DEWI mAg.* 2013, 43, 23–28.
10. Ramirez-Tejeda, K.; Turcotte, D.A.; Pike, S. Unsustainable Wind Turbine Blade Disposal Practices in the United States: A Case for Policy Intervention and Technological Innovation. *New Solut.* 2017, 26, 581–598.
11. Kamkwamba, W.; Mealer, B. *The Boy Who Harnessed the Wind: Creating Currents of Electricity and Hope*; HarperCollins: New York, NY, USA, 2014.
12. Koh, R. Bio-based Wind Turbine Blades: Renewable Energy Meets Sustainable materials for Clean, Green Power. Ph.D. Thesis, University of Massachusetts, Amherst, MA, USA, 2017.
13. <https://windeurope.org/about-wind/statistics/offshore/european-offshore-wind-industry-key-trends-statistics-2019/>, дата обращения 14.10.2021
14. Субботин А.С., Субботина Д.С., Эффективное использование строительных машин и механизмов как метод управления строительным проектом. Бюллетень строительной техники: БСТ№9(1009), сс 38-39.
15. Субботин А.С., Простотина Л.А., Строительство объектов дорожного сервиса в национальных парках и заповедниках. Транспортное строительство: ТС №2, сс 24-25.
16. Subbotina D., Subbotin A., Features of formation and functioning of the integrated structures in construction IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 365(5) 052007
17. Tochilin A. V., Voronkov I. E., Alabin A. V. Experience and prospects of using robotics in the nuclear power industry //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021.Vol. 1047. №. 1. Pp. 012193. DOI:10.1088/1757-899X/1047/1/012193

# ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНОВКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ

**Охапкин Д. В.**

*студент 6 курса 14 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Ундозеров В. А.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

В данной работе рассматривается решение, связанное с поддержкой принятия компоновочных решений электрических подстанций на основе 3D модели и итерационного подхода.

**Ключевые слова:** электрическая подстанция, оптимизация, компоновка, алгоритмизация, методика.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Принятие компоновочных решений – задача высокой сложности в связи с многочисленностью вариантов и разноплановостью критериев и факторов. Один из важнейших критериев – экономический. Анализ литературы по данной теме показал, что вопрос компоновочных решений проработан в более чем достаточной степени, однако вопрос компоновочных алгоритмов для электрических подстанций освещен в недостаточной степени, точнее говоря, практически не рассматривался. При этом для электрических подстанций компоновка имеет высокое значение, особенно в связи с расширением сетей и необходимостью строительства новых подстанций.

Возможным решением проблемы может стать алгоритм, предполагающий итерационное увеличение длины коммуникаций с нуля. Это связано с тем, что технологическая схема является определяющей при компоновке электрической подстанции, а оборудование фиксировано и не может быть заменено из-за коммуникаций.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Методика исследования основана на математическом моделировании. Суть методики заключается в установлении соответствия реальной системы с математической моделью. Последующее исследование модели позволяет получить характеристики реальной системы.

В данном исследовании основная цель и задача – это разработка методики для нахождения оптимального по затратам на коммуникации решения (в упрощенной постановке задачи) на примере электрической подстанции.

Одним из ключевых моментов электрической подстанции является ее компоновка, так как в зависимости от нее обуславливается работа самой подстанции. Анализ литературы показал, что основной упор в компоновочных решениях делается на надежность, безопасность обслуживания и ремонтпригодность оборудования подстанции. Именно поэтому встал вопрос о создании инновационной методики оптимизации компоновки, которую можно алгоритмизировать и на основе этих алгоритмов разработать программное обеспечение.

Суть методики заключается в создании 3D модели подстанции с заранее наложенными на нее условиями и итерационном подходе при выборе наиболее благоприятного варианта компоновки. Стоит отметить, что важным параметром исследования является обратно-пропорциональное увеличение длины коммуникаций к их стоимостям, в соответствии с формулой:

$$\frac{\Delta l_i}{\Delta l_j} = \frac{\Delta c_j}{\Delta c_i}, \text{ где} \quad (1)$$

$\Delta l_i$  -изменение длины  $i$ -ой коммуникаций;

$\Delta l_j$  -изменение длины  $j$ -ой коммуникаций;

$\Delta c_j$  -изменение стоимости  $j$ -ой коммуникаций;

$\Delta c_i$  -изменение стоимости  $i$ -ой коммуникаций.

На основе простейшей электрической схемы подстанции (рис. 1) и имеющегося оборудования, создавалась 3D модель подстанции (рис. 2) с последующим агрегированием оборудования (для упрощения задачи) в отдельные блоки, а также обозначались точки соединения этих блоков между собой и крепление к внешним сетям, в соответствии с оборудованием, находящимся в блоках (рис. 3).

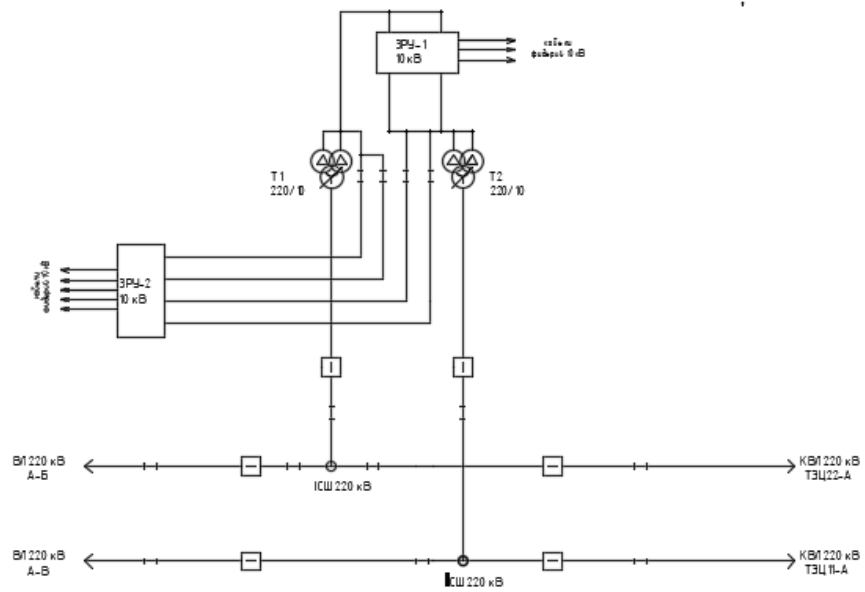
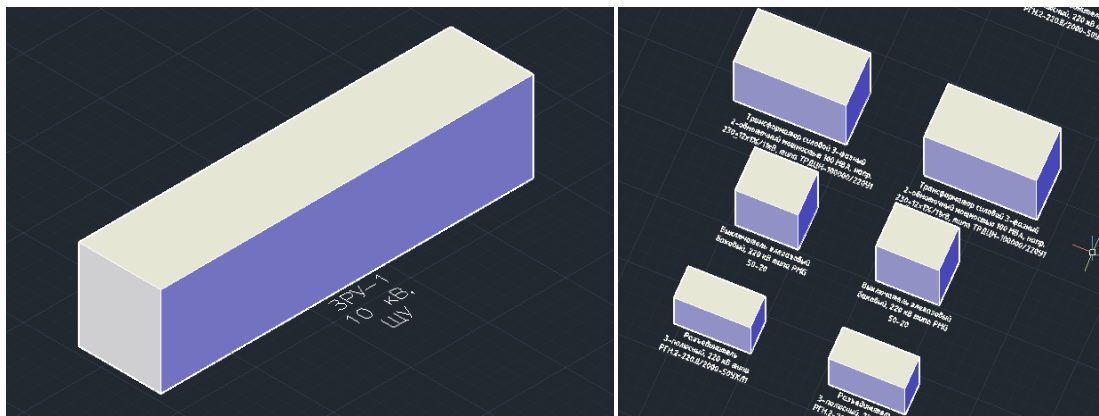
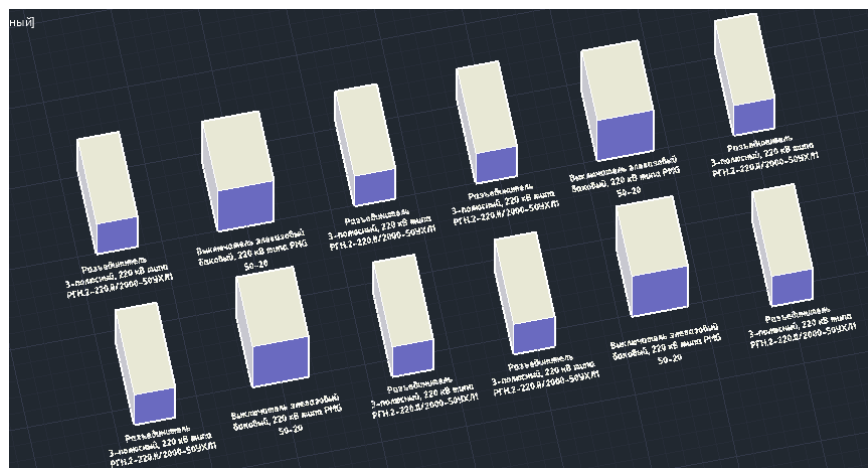


Рисунок 1. Простейшая электрическая схема подстанции.



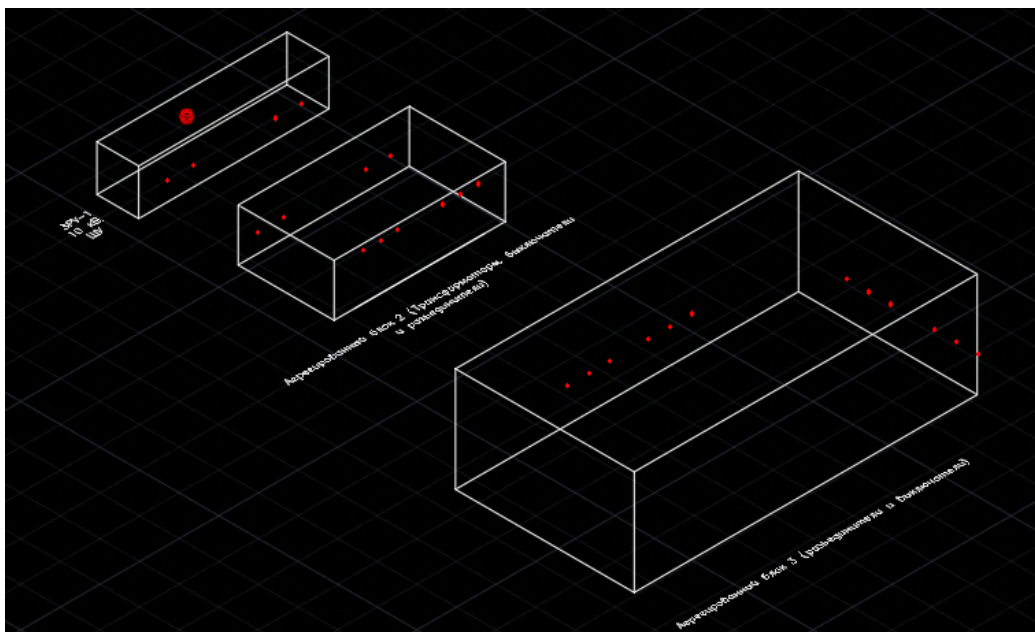
2.1

2.2



2.3

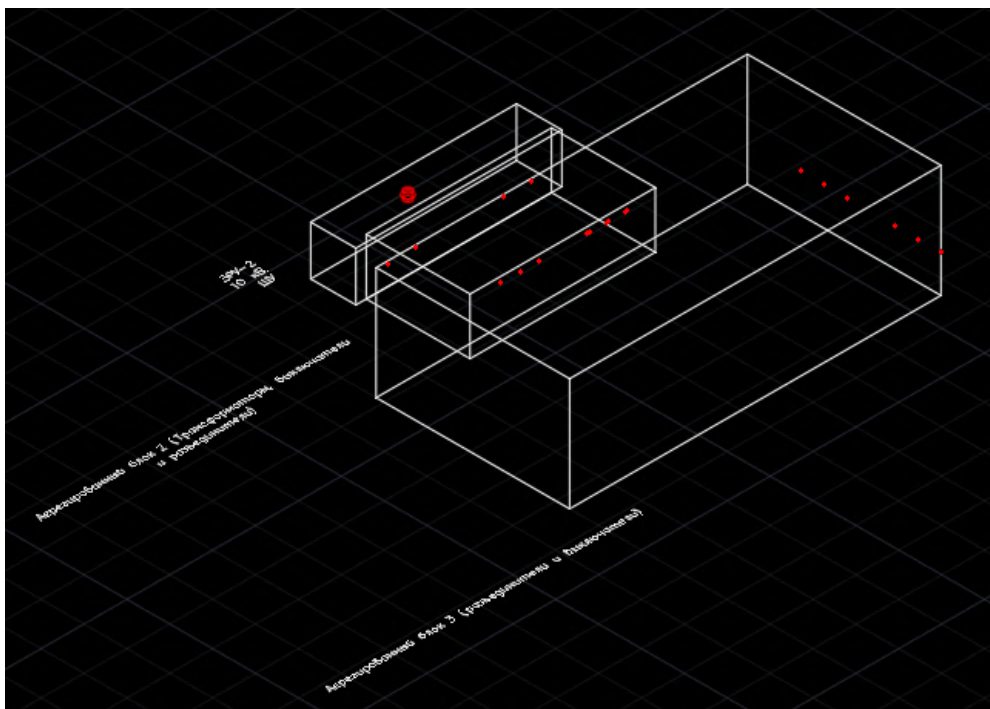
Рисунок 2. 3D модель подстанции, где 2.1 – 3D модель ЗРУ-1 10 кВ; 2.2 - 3D модель трансформаторов, выключателей и разъединителей; 2.3 - 3D модель выключателей и разъединителей.



**Рисунок 3.** Агрегированные блоки с обозначенными точками крепления коммуникаций.

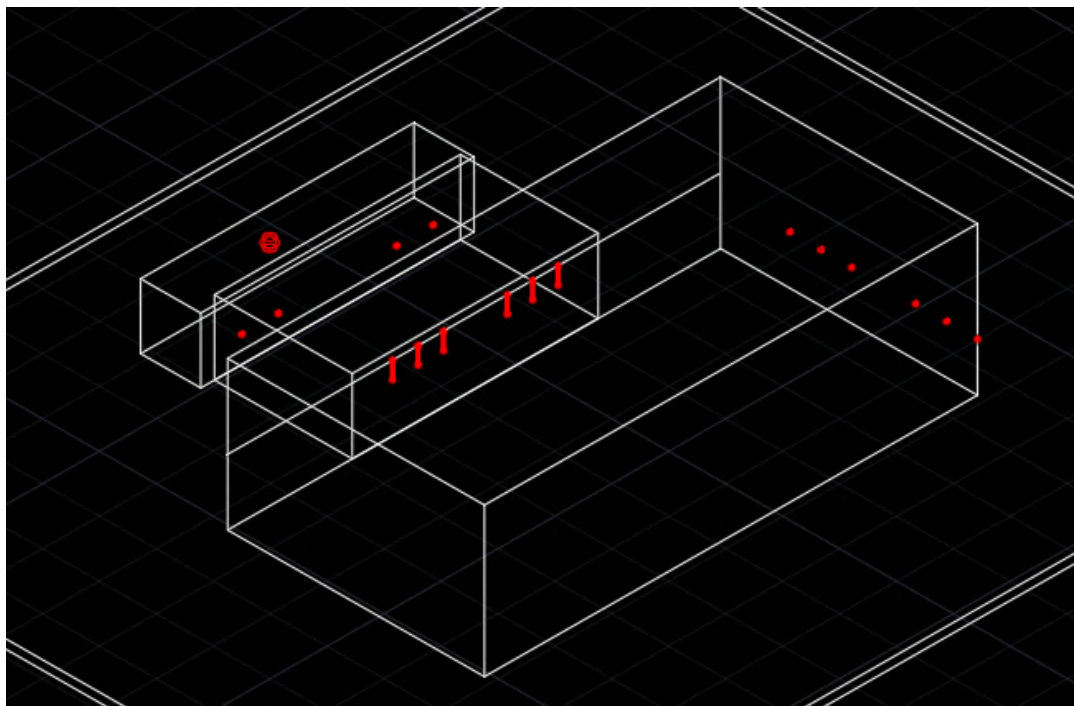
После создания 3D модели необходимо ввести ограничения исходя из логики и норм, прописанных в Правилах Устройства Электроустановок (ПУЭ). Также назначалась стоимость коммуникаций, автомобильных дорог и внешних ограждений, в соответствии с каталогами производителей. В результате были введены следующие ограничения:

1. Блоки должны быть скреплены между собой, для прохождения электроэнергии. На данном этапе длина коммуникаций стремится к 0, но при этом видно, что один из блоков висит в воздухе (рис. 4).



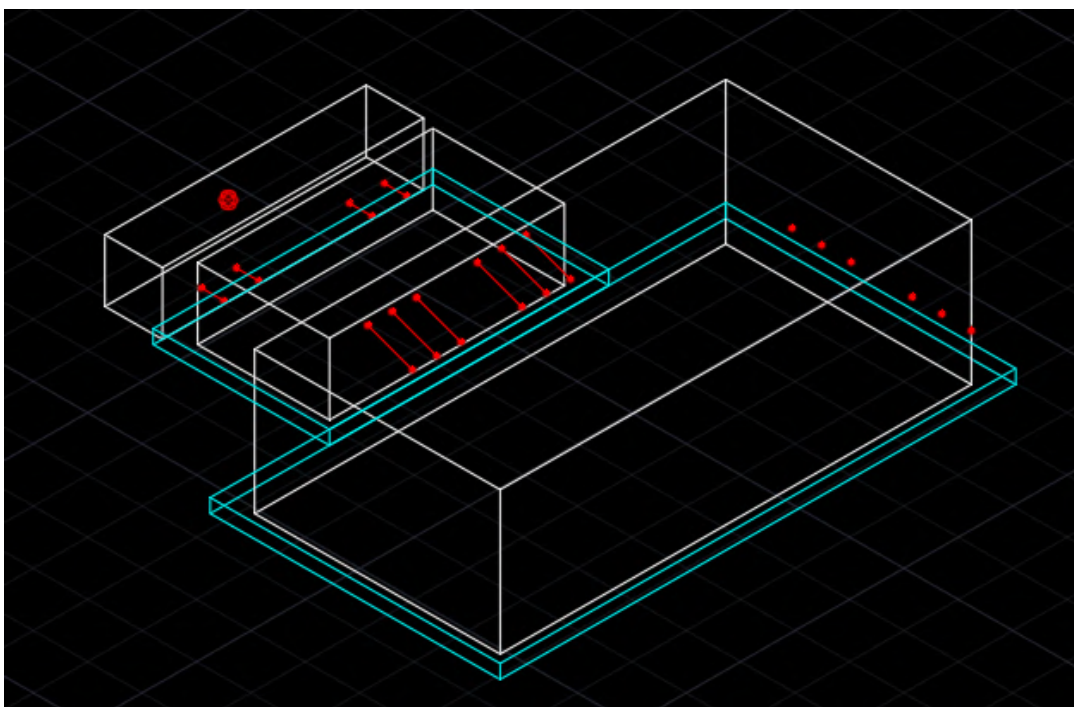
**Рисунок 4.** Присоединение блоков в точках крепления.

2. Постановка всех блоков на плоскость. На этом шаге длина коммуникаций начинает увеличиваться (коммуникации обозначены красными линиями). Коммуникации приняты жесткими и прямыми (рис. 5).

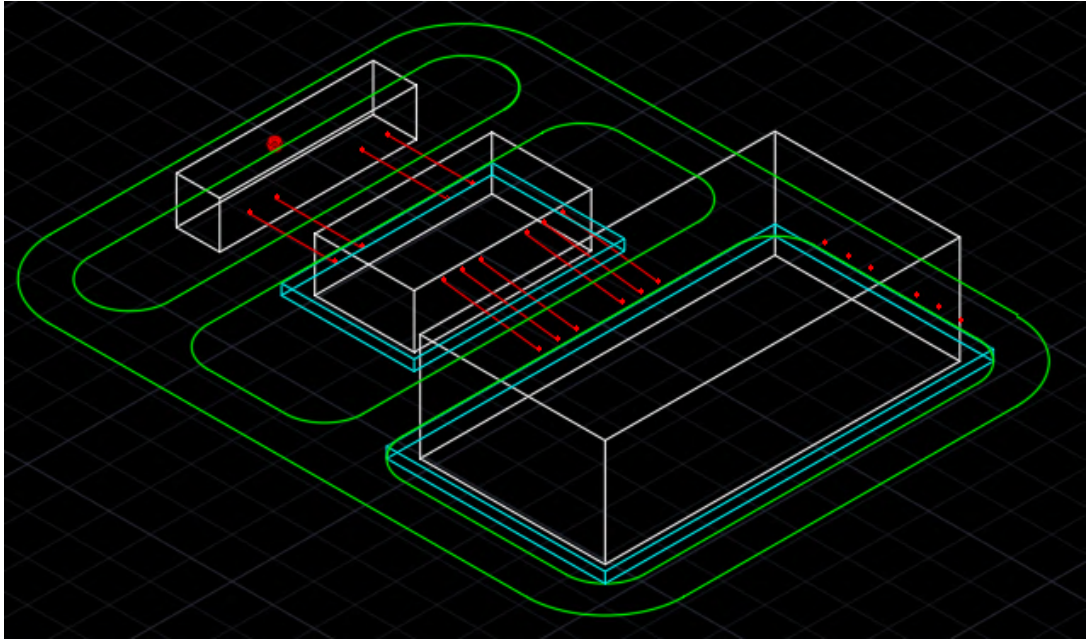


**Рисунок 5.** Постановка всех блоков на плоскость.

3. Ввод ограничений, прописанных в ПУЭ, проведение автомобильных дорог и постановка внутренних ограждений. Длина коммуникаций продолжает увеличиваться (рис. 6-8)

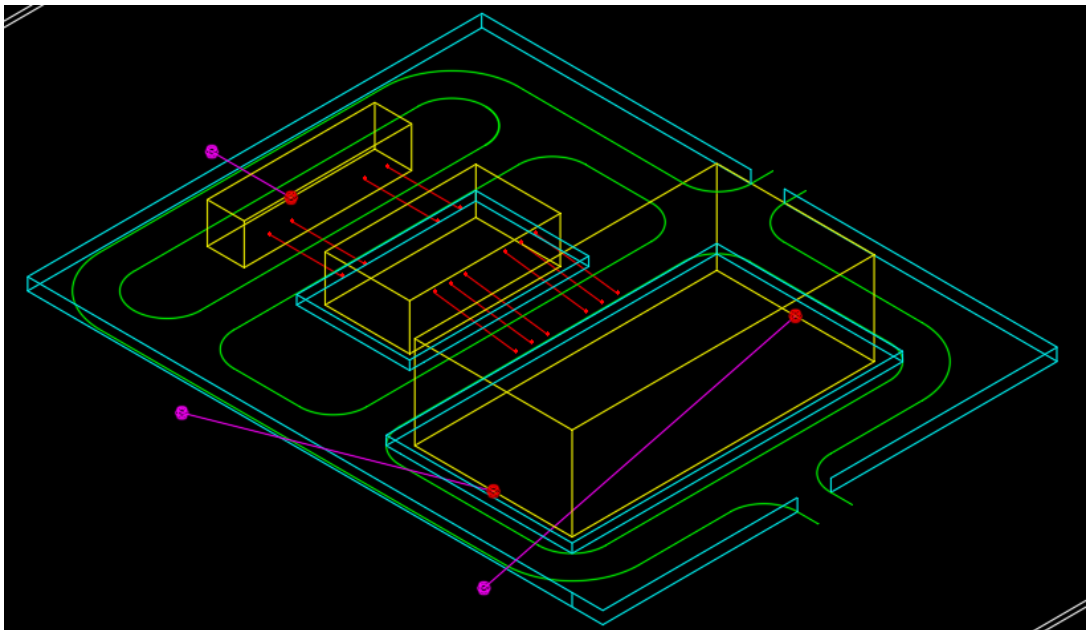


**Рисунок 6.** Ввод внутренних ограждений



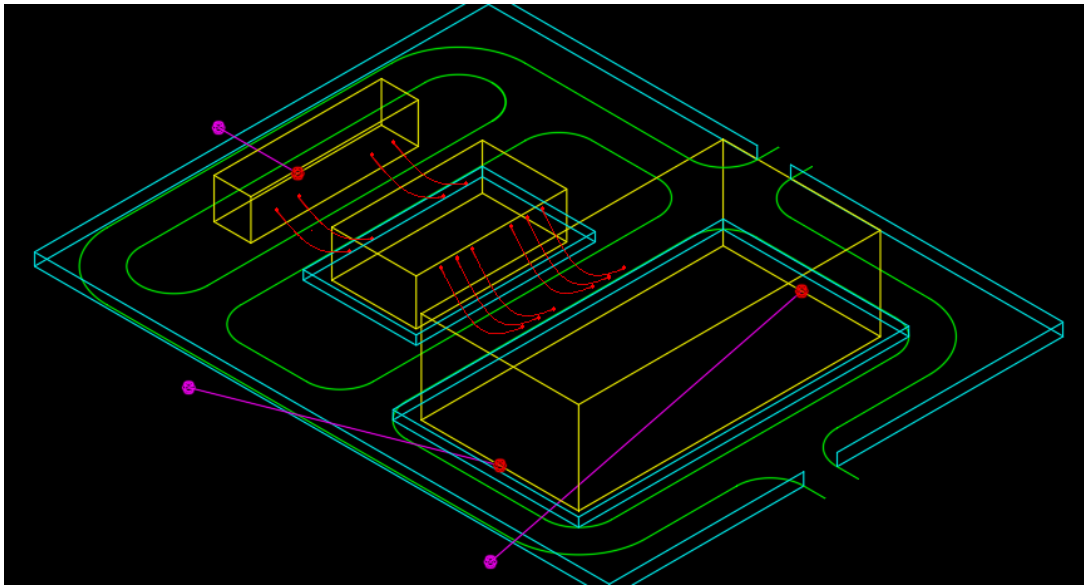
**Рисунок 7.** Проведение автомобильных дорог.

4. Фиксация в пространстве точек крепления к внешним сетям и проведение соответствующих коммуникаций, а также постановка внешних ограждений.



**Рисунок 8.** Введение внешних сетей и внешних ограждений

5. Увеличение длины коммуникаций между первым и вторым блоком (рис. 9). На этом шаге фиксируется длина всех коммуникаций

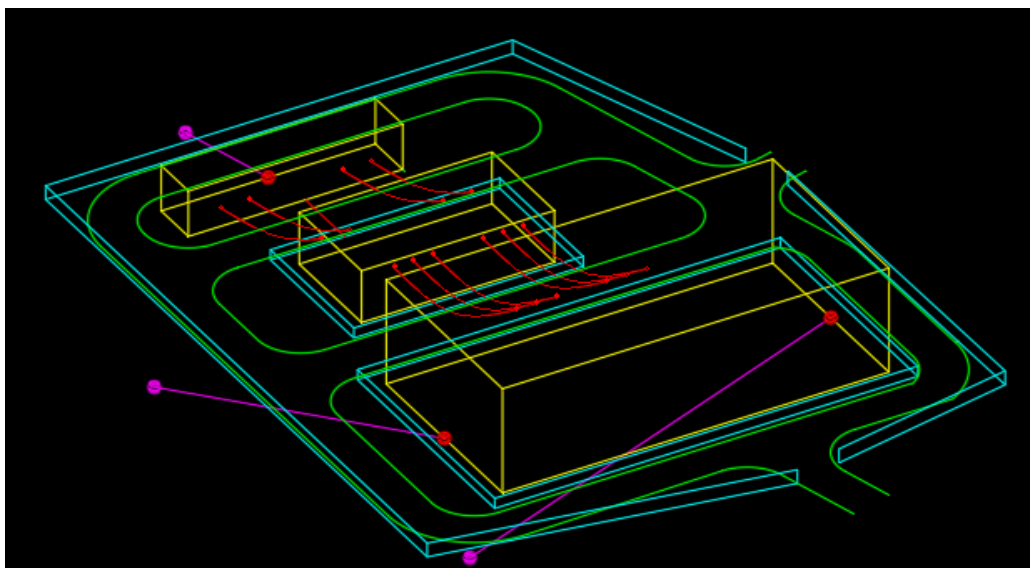


**Рисунок 9.** Увеличение длины коммуникаций между блоками.

Увеличение длины коммуникаций между блоками происходит пропорционально их стоимостям, согласно (1). Иными словами, если изменение стоимости коммуникаций между первым и вторым, вторым и третьим блоками относятся как  $\frac{3}{4}$ , то изменение длины коммуникаций между первым и вторым, вторым и третьим блоками относятся как  $\frac{4}{3}$ .

Данное действие создает “степени свободы” в блоках, которые позволяют вращать их вокруг своей оси. На данном этапе подготовка 3D модели окончена и начинается итерационный подход.

Выполняется поворот блоков на 15 градусов вокруг оси, что приводит к вынужденному перестроению и изменению длин транспортных сетей, ограждений, а также к сокращению длин коммуникаций между блоками и внешними сетями (рис 10).



**Рисунок 10.** Итерация №1.



Выполняется еще один шаг аналогично предыдущему. Это приводит к еще большему сокращению длин коммуникаций между блоками и внешними сетями, длин ограждений, но повсеместно увеличивается протяженность транспортных сетей (рис. 11).

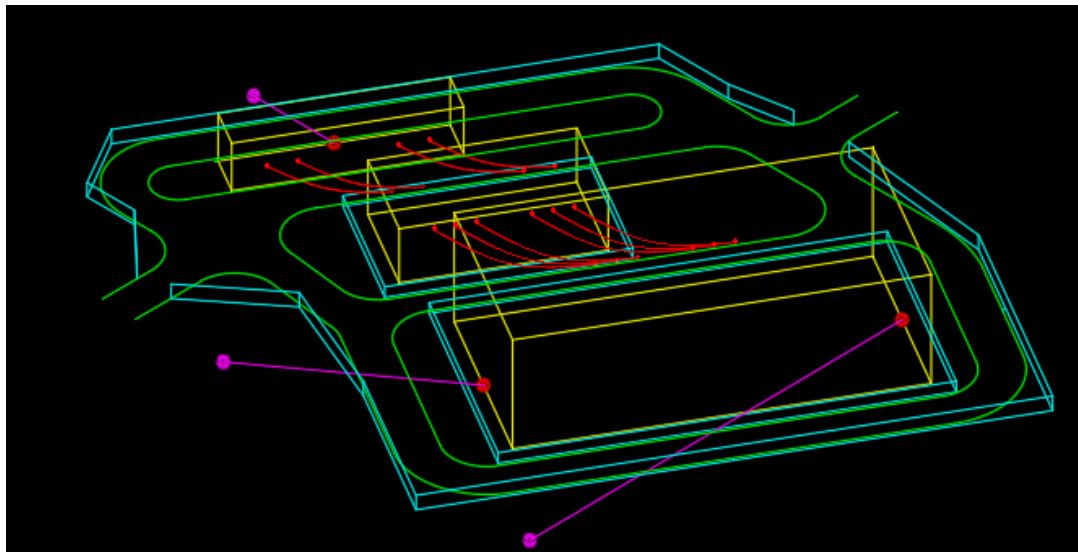


Рисунок 11. Итерация №2.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате выполненных итераций и их анализа видно, что в зависимости от угла поворота блоков стоимость коммуникаций сокращается, а стоимость автомобильных дорог и внешних ограждений изменяется (рис. 12).

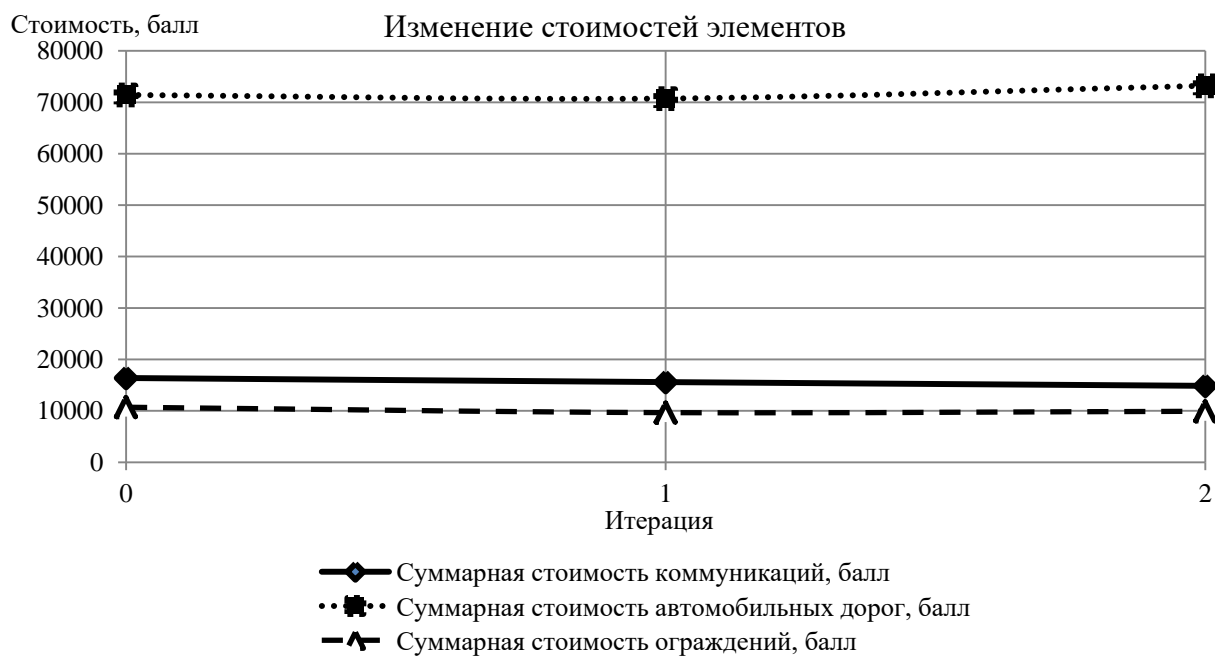


Рисунок 12. График изменения стоимостей элементов.

Таким образом, при выполнении дальнейших итераций представляется возможность нахождения наиболее благоприятного варианта компоновки электрической подстанции с учетом ограничений, наложенных на модель.

## **ВЫВОДЫ**

В результате представленной методики, в ходе N-го количества итераций может быть получен наиболее благоприятный и экономически выгодный вариант оптимизации компоновки электрической подстанции. На основе данной методики может быть создан алгоритм с учетом полного комплекса неучтенных ограничений, который в свою очередь можно интегрировать в BIM системы.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Двоскин Л.И. Схемы и конструкции распределительных устройств. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 240с., ил.
2. Справочник по проектированию подстанций С74 35-500 кВ/Г Г. К. Вишняков, Е. А. Гоберман, С. Л. Гольцман и др.; Под ред. С. С. Рокатяна и Я. С. Самойлова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 352 с., ил.
3. Строительство тепловых электростанций. Том 1. Проектные решения тепловых электростанций: Учебник для вузов /Под ред. проф. В.И. Теличенко. – М.: Изд-во АСВ, 2010. -376 стр.
4. Зорин В.М. Исследование и математическое моделирование АЭС на основе системного подхода – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 88 с.
5. Математическое моделирование : учебное пособие / С.В. Каштаева; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2020.– 112 с ; 21 см – Биб-лиогр.: с.111-112.
6. Влацкая Л.А., Горшкова А.И. Разработка автоматизированной системы проектирования и моделирования подстанции 110 кВ // Шаг в науку. -2021. - №1. – С. 61-67.
7. Правила Устройства Электроустановок . – 6-е и 7-е изд.
8. С.Е.Соколов, Е.Г. Михалкова, Е.К. Умбеткулов. Проектирование электрических станций. Конспект лекций для специальности 5В071800 – Электроэнергетика. - Алматы: НАО АУЭС, 2017.- 77 с.

# ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНОВКИ ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

**Миронов К. Е.**

*студент 4 курса 11 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Ундозеров В. А.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

На сегодняшний день выбор компоновочных решений представляет собой сложную задачу, ввиду большого количества факторов, влияющих на проектирование. Поэтому необходим инструмент для автоматизированного учета факторов, которым является оптимизация.

В статье рассмотрен вопрос инновационного подхода к оптимизации компоновки главного корпуса ТЭС, основанный на итерационном методе, с целью уменьшения затрат на коммуникации между рабочим оборудованием основного цикла электростанции.

## **ВВЕДЕНИЕ**

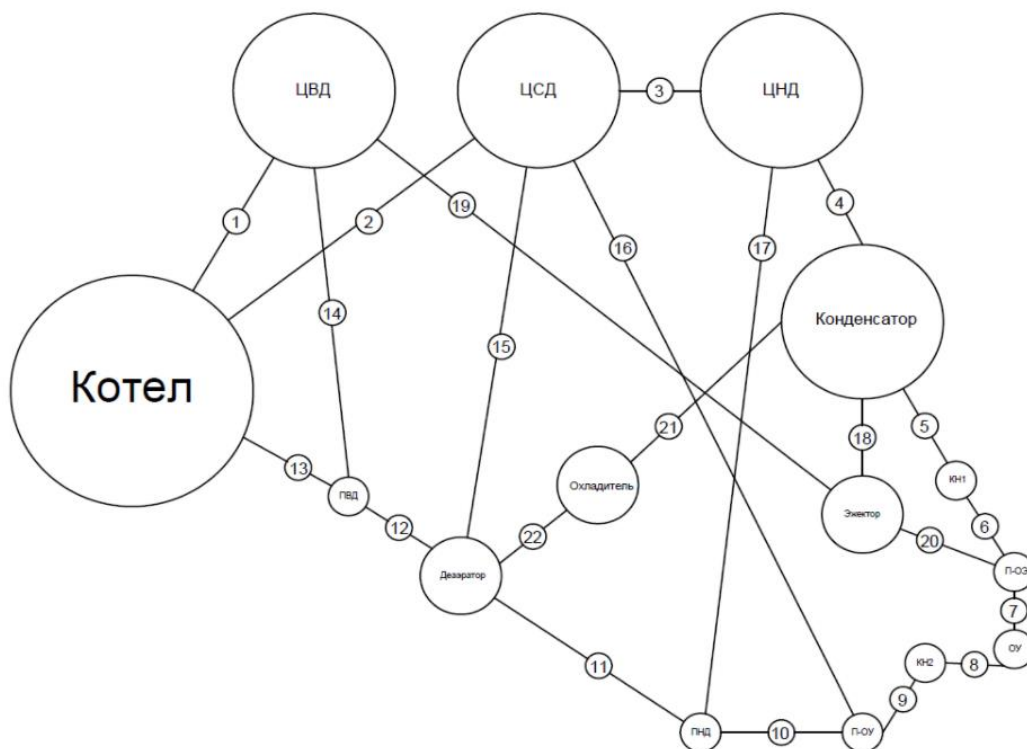
Вопрос решения задач по оптимизации компоновок производственных и промышленных объектов актуален и активно решается на основе методов эвристики, алгоритмов оптимизации или итерационных задач. Проблемами планировок производственных объектов занимались: M.Rosenblatt [1], распределением объектов с использованием затрат на обработку материалов; E.Buffa [2], работой по субъективному рейтингу близости; Y.Bozer [3], распределением многоэтажных планировок; M.Anjos и M.Vieira [4], математическим подходом к оптимизации компоновок объектов. В сфере строительства электростанций вопрос оптимизации является не менее актуальным.

Целью данной работы является обзор принципа математического моделирования компоновки ГК на основе автоматического оптимального подбора протяженности коммуникаций оборудования основного цикла.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

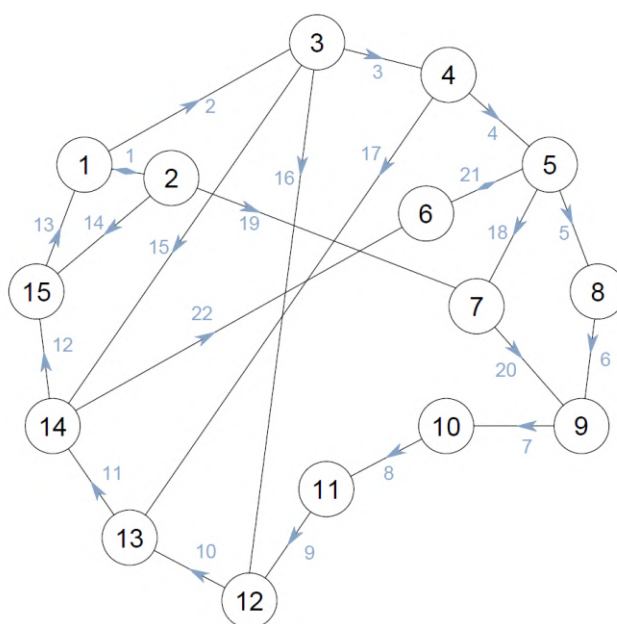
Оптимизация компоновки строится на создании математической оптимизационной модели с целевой функцией «стоимость коммуникаций» - критерием оптимальности. Целевая функция минимизируется.

Для моделирования структуры основного цикла ТЭС принципиальная схема представляется в виде графа, узлы которого – оборудование, ребра – коммуникации.



**Рисунок 1** Основной цикл. ЦНД – цилиндр низкого давления; ЦСД – цилиндр среднего давления; ЦВД – цилиндр высокого давления; ПНД – подогреватель низкого давления; ПВД – подогреватель высокого давления; КН – конденсационный насос; ОУ – обессоливающая установка.

Если оборудование обозначить точками, связи обозначим отрезками прямой со стрелками, то мы получим ориентированный граф основного цикла.



**Рисунок 2** Ориентированный граф

Рёбра графа не эквивалентны между собой, так как удельные стоимости коммуникаций между разным оборудованием отличны друг от друга.

Этот граф легко представить в виде матрицы соединений, которая в свою очередь позволяет определить коммуникации между вершинами графа, ее направление и номера вершин (оборудования) откуда и куда выходит и входит ребро графа.

Пронумеруем всё оборудование цикла и пронумеруем связи между оборудованием. В результате чего получим матрицу соединений, в которой обозначим связи между оборудованием, и матрицу пронумерованных связей.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
2	1		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	-1	0		1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
4	0	0	-1		1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	-1		1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
7	0	-1	0	0	-1	0		0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	-1	0	0		1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	-1	-1		1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1		1	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1		1	0	0	0	0
12	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1		1	0	0	0
13	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1		1	0	0
14	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1		1	0
15	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	

**Рисунок 3** Матрица соединений

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
2	1		0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	14
3	2	0		3	0	0	0	0	0	0	0	16	0	15	0
4	0	0	3		4	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0
5	0	0	0	4		21	18	5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	21		0	0	0	0	0	0	0	22	0
7	0	19	0	0	18	0		0	20	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	5	0	0		6	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	20	6		7	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	7		8	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8		9	0	0	0
12	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	9		10	0	0
13	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	10		11	0
14	0	0	15	0	0	22	0	0	0	0	0	0	11		12
15	13	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	

**Рисунок 4** Матрица пронумерованных связей

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1		C1	C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C13
2	C1		0	0	0	0	C19	0	0	0	0	0	0	0	0	C14
3	C2	0		C3	0	0	0	0	0	0	0	C16	0	C15	0	
4	0	0	C3		C4	0	0	0	0	0	0	0	C17	0	0	
5	0	0	0	C4		C21	C18	C5	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	C21		0	0	0	0	0	0	0	22	0	
7	0	C18	0	0	C18	0		0	C20	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	C5	0	0		C6	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	20	C6		C7	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	C7		C8	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C8		C9	0	0	0	
12	0	0	C16	0	0	0	0	0	0	0	C9		C10	0	0	
13	0	0	0	C17	0	0	0	0	0	0	0	C10		C11	0	
14	0	0	C15	0	0	C22	0	0	0	0	0	0	C11		C12	
15	C13	C14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C12	

Рисунок 5 Матрица стоимостей

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Связи между вершинами графов можно представить как:  $1 \leftrightarrow | 2; 3; -15 |$

Добавим к обозначению вес связей:  $1 \leftrightarrow | 2C2; 3C3; -15C15 |$

Веса связей – удельная стоимость коммуникаций.

Такая запись полностью отражает удельную стоимость связей. Повторив эту операцию со всеми вершинами графа, мы получим код графа, используемый при расчете математической модели на ЭВМ.

Рассматриваемый подход подразумевает, что алгоритм состоит из нескольких циклов, начиная с нуля и итерационно увеличивая протяженность.

Требование: отношение длины коммуникации обратно пропорционально отношению удельных стоимостей:

$$\frac{\Delta l_i}{\Delta l_j} = \frac{\Delta C_j}{\Delta C_i} \quad 1)$$

Ввиду особенностей оборудования, для нашей модели в дальнейших направлениях вводятся ограничения. Например, горизонтальное расположение турбины или вертикально котла.

## ВЫВОДЫ

В данной работе представлен подход, основанный на методе итераций. Он направлен на создание алгоритма оптимизации компоновки главного корпуса электростанции, посредством представления основного цикла ТЭС в виде графа, преобразования его в виде

матрицы связей, формирования матрицы стоимостей и назначения требований. Рассмотренный подход может использоваться в дальнейшем для создания математической модели. На ее основе возможна разработка инновационных ПО, которые дальше возможно интегрировать в ВМ системы, что в конечном итоге приводит к автоматизации компоновочных решений.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rosenblatt, M.J., 1979. The facilities layout problem: A multi-goal approach. *Int. J. Prod. Res.* <https://doi.org/10.1080/00207547908919617>
2. E.S Buffa, G.C.A. and T. V., 1964. Allocating Facilities with CRAFT. *Harvard Bus. Rev.* 42, 136–158. <https://doi.org/10.5772/48662>
3. Bozer, Y. a., Erlebacher, S.J., Meller, R.D., 1991. An Improvement-Type Layout Algorithm for Single and Multiple-Floor Facilities. *Manage. Sci.* 40, 918–932. <https://doi.org/10.1287/mnsc.40.7.918>
4. Anjos, M.F., Vieira, M.V.C., 2017. Mathematical optimization approaches for facility layout problems: The state-of-the-art and future research directions. *Eur. J. Oper. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.049>
5. Wrigley, P.A.Wood, PaulStewart, Paul Hall, Richard Robertson, D., 2018. Module layout optimization using a genetic algorithm in light water modular nuclear reactor power plants., 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2018.10.023>
6. Домнин Л.Н. Элементы теории графов: учебное пособие / Изд-во Пенз. гос. ун-та. Пенза. 2007. 144 с.
7. Зорин, В.М. Исследование и математическое моделирование АЭС на основе системного подхода – М: Издательство МЭИ, 2002. – 88 с.
8. Каштаева, С.В. Математическое моделирование: учебное пособие / С.В. Каштаева; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2020. – 112 с.

# УПРАВЛЕНИЕ СРОКАМИ СТРОИТЕЛЬСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ

**Кочнев Д.А.**

*студент 4 курса 5 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Кузьмин Н.Ю.**

*старший преподаватель кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

## **ВІМ технологии сейчас**

Применение в работе современного программного обеспечения стало неотъемлемой частью любого серьезного бизнес-проекта. Но что из представляет себя сам проект? Если кратко, проект- это временное мероприятие, направленное на получение уникального результата. В строительном проекте проект начинается с задумки и завершается после окончания строительного процесса и ввода объекта в эксплуатацию. Информационное моделирование позволяет принимать решения на всех этапах выполнения проекта и на всех этапах жизненного цикла конструкции, включая инвестиционный замысел, проектирование, строительство, эксплуатацию и снос.

Процесс выполнения строительного проекта можно разделить на три основных блока: управление содержанием (формирование документации, структуры работ), управление сроками (определение взаимосвязей работ, разработка ресурсного плана и календарного плана работ) и управление стоимостью(оценка стоимости работ и определение бюджета проекта). Стоит отметить, что информационные системы управления проектом повсеместно используются только на этапе управления содержанием, несмотря на то, что такие системы обеспечивают и управление сроками и стоимостью проекта [4].

Применение ВІМ технологий в проекте начинается с этапа проектного 3D моделирования. В него входит создание моделей стадии проектного и рабочего уровня проработки. На этапе формируются точные данные об объемах работ.

На этапе строительного ВІМ моделирования формируются точные сроки, выбирается оптимальный график производства работ, учитывается количество строительных машин и условия района строительства. На основе полученных вводных данных высчитываются фактические затраты. Имитационное моделирование процесса возведения объектов позволяет определить точные сроки работ, рационально распределить работы по захваткам и выявить возможные коллизии в последовательности работ [5].



Заключительным этапом является сопровождение строительства на базе Цифрового ПОС / ППР, представляет собой контроль над проектом в единой информационной среде, что позволяет координировать работу различных участников строительства. Актуальный график производства работ позволяет оперативно управлять сроками, моделирование процесса помогает наглядно демонстрировать хронологию возведения объекта и степень выполнения работ на данный момент [6].

### **Инструменты BIM моделирования и управление сроками**

На сегодняшний день среди технологий информационного моделирования наиболее популярна продукция Autodesk. Программа Revit позволяет моделировать информационную 3D модель с заданными физическими характеристиками [4].

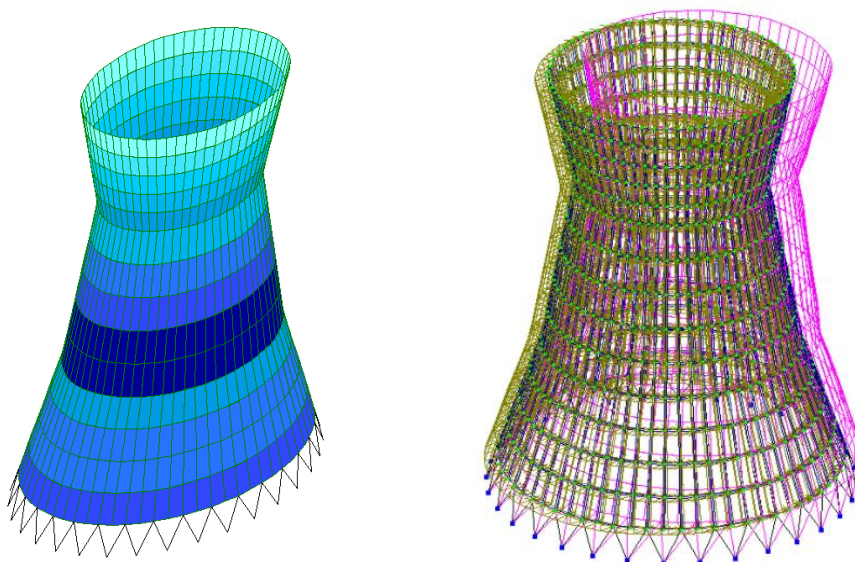
С помощью ПК Лира можно создать математическую модель конструкции сооружения, задать нагрузки на модель и сделать расчет на статические и динамические воздействия с визуализации распределения нагрузок.

Сервис Autodesk Navisworks создан для совместной работы различных отделов команды с материалами проекта: исследования, согласования и представления моделей. На базе Navisworks можно смоделировать процесс возведения объекта. Преимущество Navisworks заключается в совместимости с большинством форматов файлов информационного моделирования и возможности быстрой демонстрации большого объема данных, что принципиально важно на встречах и совещаниях.

На базе Microsoft Project можно составить интерактивный календарный план с учетом трудовых, финансовых и технических ресурсов с отслеживанием фактических сроков выполнения работ в сравнении с проектными сроками (что также можно показать в Navisworks).

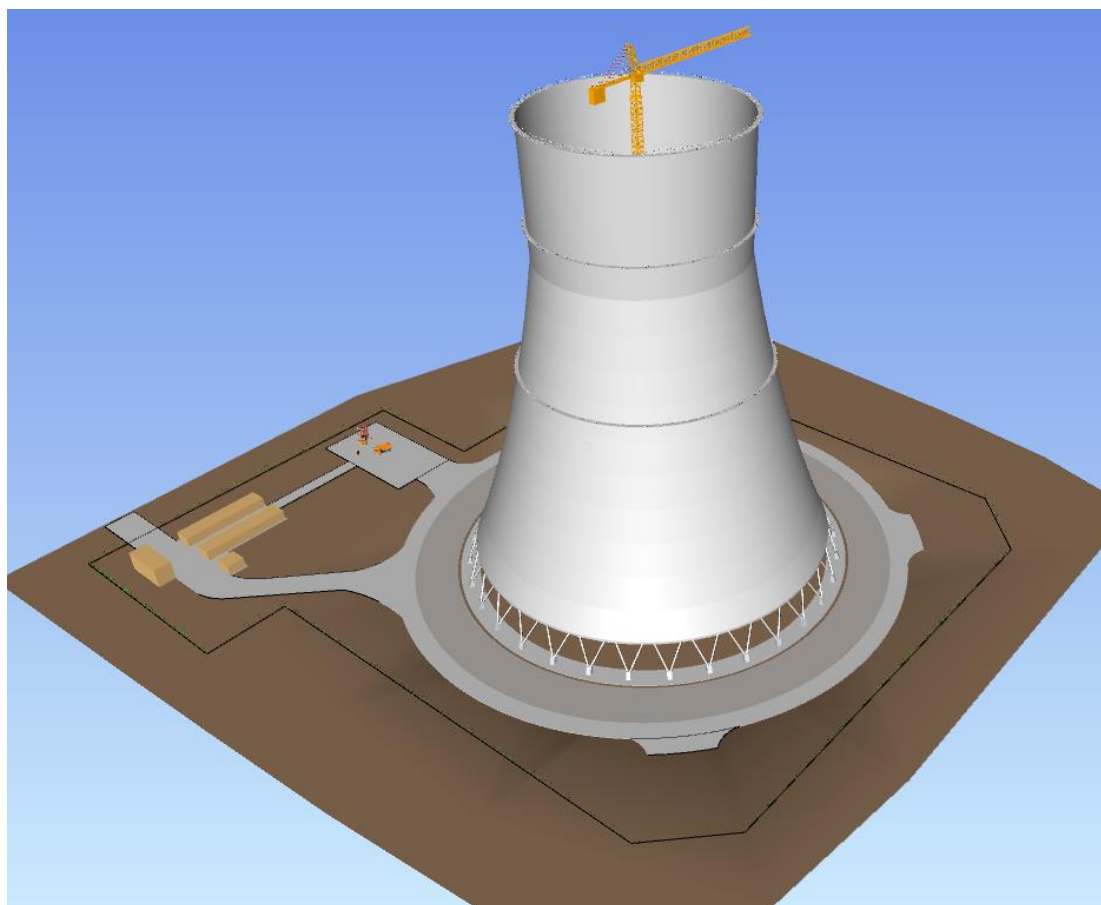
### **Применение BIM технологий в строительстве башенной градирни**

Башенная испарительная градирня- уникальное сооружение, требующее особого подхода к проектированию. Информационное моделирование упрощает расчет нагрузок на массивную конструкцию со специфической формой гиперboloида. С помощью ПК Лира можно создать упрощенную модель градирни, состоящей из пластин (железобетонной оболочки) и стержней с жесткой заделкой (наклонной колоннады), назначить материалы и добавить ветровую нагрузку и нагрузку от собственного веса [5, 6].



**Рисунок 1.** Расчетная модель градирни в Лира САПР

Navisworks обеспечивает реалистичную визуализацию проекта, что позволяет схематично разместить будущие строительные машины, наметить их проходку и определить перемещение участников строительства по объекту. В этой программе наиболее удобно выбрать способ деления работ на захватки. В случае с градирней целесообразно разделить монтаж колонн по секторам, а возведение оболочки- послойно по высоте.



**Рисунок 2.** Демонстрационная модель в Navisworks

В Microsoft Project составляется график производства работ, который легко корректировать в зависимости от ситуации.

### **Аналоги**

Помимо продуктов Autodesk и Microsoft в сфере BIM технологий набирает популярность ArchiCAD, программа, близкая по своему наполнению к Revit. Процесс работы ArchiCAD поддерживает режим командной работы проектировщиков. По принципу работы.

Существует множество программ управления сроками проекта. Среди них Trello (преимущественно для подготовки коммерческих предложений и коммуникации между сотрудниками внутри компании), Oracle Primavera и OpenProj.

### **Перспектива использования BIM технологий**

Весь потенциал применения технологий информационного моделирования еще не раскрыт. Строительные компании не спешат внедрять BIM инструменты на всех этапах, однако это позволяет комплексно подходить к управлению проектом. Такая система снижает риски, оптимизирует работу, упрощает коммуникацию между отделами и в целом способствует успешному выполнению проекта.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Добромыслов А. Н. Расчет железобетонных сооружений с использованием программы “Лира”. —Москва: изд. АСВ, 2015.— 195 с.
2. Экспресс-курс "Управление проектами в MS-Project 2016" [Электронный ресурс].—URL: <https://stepik.org/course/2009/syllabus>
3. Autodesk Navisworks: продвинутый уровень [Электронный ресурс].—URL: <https://bim.vc/edu/courses/autodesk-navisworks-prodvinutyy-uroven/timeliner/>
4. Воронков И. Е., Усманов Т. А. Логистические технологии, используемые при возведении атомных электростанций // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 2. С. 49-56. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.02.49-56.
5. Subbotin A., Melkumyan A., Khuriev V. Organization of technological approach to the design of engineering systems using bim-technologies E3S Web of Conferences (см. в книгах). 2019. С. 3.
6. Субботин А.С., Жаркова Д.В. Возможность применения автоматизационных процессов для оформления исполнительной документации Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 10. С. 67-71.

# ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕСТАНДАРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ГРАДИРНИ

**Пугачёва К.С.**

*студент 4 курса 5 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Воронков И.Е.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

В сложившейся эпидемиологической ситуации в строительной отрасли наблюдается отток большого количества рабочих трудовых ресурсов. Данная проблематика способствует увеличению сроков производства работ и снижению их качества. Одним из методов уменьшения воздействия данного фактора является применение роботизированных технологий для производства различных строительных работ. Данная статья рассматривает потенциал применения новых нестандартных технологий для разработки котлована при возведении насосной станции градирни. В работе рассматриваются несколько вариантов новых технологий с применением беспилотных экскаватора и грейфера, проведено краткое сравнение стандартных и новых технологий, приведены примеры реинжиниринга строительных технологий, сделаны выводы о возможности применения и оценки применимости различных нестандартных технологий.

**Ключевые слова:** строительство ТЭС, аддитивные технологии, устройство котлована, экскаватор, грейфер, роботизация.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Многие стратегические отрасли развитых стран для экономического развития, включая строительную сферу, в последнее время направлены на ускоренную механизацию, автоматизацию и роботизацию производственных процессов [1]. Это направление в основном связано с увеличением производительности работ, улучшением качества выполняемых процессов и экономической выгодой, особенно в независимости, как от квалифицированных строителей, так и просто наемных рабочих, влияющих на себестоимость строительно-монтажных работ и отсутствием нарушений установленных государственных нормативных правовых актов и тем более возможного травматизма и техногенных аварий. Так же одним из факторов влияющим на применение

роботизированных технологий является распространение новой коронавирусной инфекции SARS-CoV-2, повлекшей за собой отток трудовых мигрантов и уменьшение общего количества персонала на строительных площадках страны [2].

В данной работе рассматриваются нестандартные технологические решения по устройству котлована для насосной станции градирни. Для раскрытия актуальности данного вопроса рассматриваются текущие технологические решения, приводятся примеры реинжиниринга, представлена таблица преимуществ и недостатков, сформулирован общий вывод о целесообразности применения нестандартных решений.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Роботизация и автоматизация строительного производства на данный момент связаны с уменьшением количества квалифицированного персонала, общего уменьшения рабочей силы, низким качеством производства работ. При анализе рынка труда за 2021 год можно выделить следующие особенности:

- по состоянию на июль 2021 г. нехватка трудовых ресурсов в строительной сфере составляет 40%;
- нехватка трудовых мигрантов для строительной отрасли составляет 23% (0,14-0,3 млн.чел.) от общего количества недобора для всех отраслей развития экономики;
- за 2020 год отток мигрантов в основном произошел по специальности разнорабочий на 34,8%.

На основании выше сказанного можно утверждать, что в строительной сфере за прошедшие 2020 и 2021 года произошел массовый отток рабочей силы, в основном связанный с уменьшением рабочих мигрантов.

При данном дефиците рабочих кадров происходит увеличение сроков производства работ, снижается качество работ, возрастает травматизм [4].

Одним из возможных путей решения данной проблематики является замена ручного [5] и механизированного труда на роботизацию [6].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Рассмотрим вариант устройства котлована для насосной станции градирни ТЭС 600 МВт, с габаритами здания в осях 63 x 24 м и суммарным объемом многоуровневого котлована 59 360 м<sup>3</sup>.

Классическая технология по разработке котлована состоит из следующих этапов производства работ:

1) На подготовительном этапе необходимо провести геодезическую съемку местности, произвести вынос строительных осей и на местности. При классическом методе производят съемку с использованием электронного тахеометра и GNSS приемника. Общее количество людей для производства работ 3 человека.

2) Разработка котлована с применением гусеничного экскаватора с ковшом типа обратная лопата и автосамосвалами. При классическом методе для производства работ в данных объемах необходимо применять экскаватор типа CASE CX-300C, с ковшом объемом 1,4 м<sup>3</sup> и 4 автомобилей самосвалов, типа КАМАЗ-6520. Общее количество людей для производства работ в 2 смены составляет 10 человек.

3) Планировка котлована с применением бульдозера. Общее количество людей для производства работ составляет 1 человек.

4) Ручная выемка котлована до планировочной отметки. Общее количество людей для производства работ составляет 5 человек.

На всех этапах производства работ необходим персонал, общее количество которого при 2-х сменной работе достигает 19 человек.

Проанализировав тенденции цифровизации технологических процессов, развития строительной техники и логистических технологий [7], возможно добиться автоматизации производства работ в следующих процессах [8]:

1) На подготовительном этапе необходимо провести геодезическую съемку местности с использованием дронов с высокоточными 3D сканерами [9] и ориентированием на местности по средствам GPS/ГЛОНАСС, типа DJI Matrice 300 RTK с лидаром DJI Zenmuse L1 (рис.1а). Для выполнения работ и дальнейшей обработки данных необходим 1 человек.

2) Разработка котлована с использованием автономного шагающего экскаватора типа Menzi Muck M545 (рис.1б) с ковшом 1,5 м<sup>3</sup>. По средствам проведенной геодезической съемки и закрепления 3-5 ключевых точек позиционирования на местности создается информационная модель котлована строящегося объекта, которая закладывается в программу экскаватора для производства работ [9]. Для контроля за выполнением работ необходим 1 человек.

3) Разработка котлована с использованием роботизированного козлового грейфера. Данный метод можно использовать взамен 2-го пункта. Однако для проведения работ данным методом необходимо помимо имеющейся информационной модели котлована произвести установку рельсовых направляющих и сборку грейфера на местности. Для

монтажа оборудования необходимо 5 человек. Для контроля за выполнением работ необходим 1 человек.

4) Вывоз грунта с использованием беспилотных самосвалов в количестве 3-5 штук, типа КАМАЗ-65119 (рис.1в). На основании информационной модели задается траектория движения и очередность подачи самосвалов на погрузку. Для контроля за выполнением работ необходим 1 человек.

5) Планировка котлована с использованием бульдозера типа Caterpillar (рис.1г) до планировочной отметки. На основе информационной модели задаются отметки планировки грунта и траектория производства работ. Для контроля за выполнением работ необходим 1 человек.

На всех этапах производства работ необходим персонал, общее количество которого при 3-х сменной работе достигает 8 человек.

Проанализировав количество людей необходимых на выполнение работ, получаем уменьшение количества персонала в 2,4 раза.



а)



б)



в)



г)

**Рисунок 1.** Роботизированная и беспилотная строительная техника.

*а) беспилотный дрон DJI Matrice 300 RTK с лидаром DJI Zenmuse L1; б) автономный шагающий экскаватор Menzi Muck M545; в) беспилотный самосвал КАМАЗ-65119; г) кран козловой грейферный (рельсовый) ТЕХНОРОС*

В приведенном примере перехода от классической технологии к автоматизированному производству работ, необходимо производить реинжиниринг технологических процессов[10].

С помощью дронов возможно создание точной геодезической сетки местности, с большим полем точек, что позволит с большей точностью рассчитать объем необходимых земляных работ. Благодаря специализированному программному обеспечению поле точек выгружается напрямую в информационную модель для дальнейшего проектирования и контроля выполненных работ. Благодаря разработке проектной документации с использованием 3D моделирования точность и скорость расчета баланса земляных масс можно увеличить в несколько раз по сравнению с использованием классических технологий.

Разработка котлована с использованием роботизированного экскаватора, беспилотных самосвалов и бульдозера требует наличия информационной модели существующей площадки, проектируемого объекта и более детального проекта производства работ. При подготовке ППР и информационной модели необходимо увязывать технологию и алгоритм роботизированного процесса, схемы передвижения, координатные (пространственные) и опорные точки на местности.

После разработки котлована выполненный объем работ возможно проверить с использованием того же дрона с лидаром, создавая новую информационную модель и дальнейшее сравнение с проектными данными.

Для более детального сравнения классических и нестандартных технологий рассмотрим таблицу 1 ниже.

**Таблица 1.** Сравнение классических и нестандартных технологий.

Наименование	Способы разработки грунта ( $V_{гр}=59\ 360\ м^3$ ) по классической технологии)			
	Ручной		Механизированный	
Характеристики различных методов	Состав бригады	Рабочий-строитель. Разряд III	Средний одноковшовый гусеничный экскаватор CASE CX300C, объем ковша $1,4\ м^3$	
	Количество	100 чел.		
	Согласно ГЭСН 01-02-056-08:		Согласно ГЭСН 01-01-012-13:	
	Общие трудозатраты, чел-ч	175 706	Затраты труда машинистов, чел-ч	413,12
	Продолжительность работ, ч	1 757	Продолжительность работ, ч	464
	Продолжительность	220	Продолжительность	58



	работ, смен			работ, смен	
	Продолжительность работ, дней		110	Продолжительность работ, дней	
	Заработная плата	чел./день (с НДС)	Итого за весь период работы	Аренда	руб./ч. (с НДС)
1500 руб./см.		33 000 000 руб.	2200 руб./ч		1 020 800 руб.
Преимущества	-			Классическая технология производства работ; большое число схожих по техническим характеристикам строительных машин; большая производительность труда; самый дешёвый вид разработки грунта	

Продолжение Таблицы 1.

Недостатки	Низкая производительность труда; долгая продолжительность работ; Самый дорогостоящий вид разработки грунта		Необходимо большое количество машинистов, контроль производства работ выполняется вручную	
Наименование	Способы разработки грунта ( $V_{гр}=59\ 360\ м^3$ )			
	Роботизированный (грейфер)		Роботизированный (экскаватор)	
Характеристики различных методов	Кран козловой грейферный (рельсовый) ТЕХНОРОС, грузоподъёмность - 20т, высота подъёма - 20м, пролёт - 60 м, объем грейфера-5 м <sup>3</sup>		Шагающий экскаватор Menzi Muck M545, объём ковша 1,5 м <sup>3</sup>	
	Согласно расчётам		Согласно расчётам	
	Общие трудозатраты, маш.\ч	396	Общие трудозатраты, маш.\ч	618
	Продолжительность работ, ч	396	Продолжительность работ, ч	618
	Продолжительность работ, смен	50	Продолжительность работ, смен	78
Продолжительность работ, дней	17	Продолжительность работ, дней	26	

	Аренда	руб./см. (с НДС)	Итого за весь период работы (+монтаж/демонтаж)	Аренда	руб./ч. (с НДС)	Итого за весь период работы
		40 000 руб./см.	2 200 000 руб.		5000 руб./ч	3 090 000 руб.
Преимущества	Большая производительность разработки грунта, возможность работать круглосуточно без перерывов, более точный результат, благодаря привязки к дрону с высокоточными 3D сканерами и ориентированием на местности по средствам GPS/ГЛОНАСС; возможность разместить площадку для разгрузки грейфера в одном месте у верхней бровки котлована; нет необходимости менять месторасположение оборудования; возможность загрузки самосвала за 3 цикл копания			Большая производительность разработки грунта, возможность работать круглосуточно без перерывов, более точный результат, благодаря привязки к дрону с высокоточными 3D сканерами и ориентированием на местности по средствам GPS/ГЛОНАСС;		
Недостатки	Необходима установка рельсовых направляющих и сборка грейфера на местности; более трудоемкий процесс проектирования и разработки ППР; необходимость дополнительного написания программы работы грейфера; пролет козлового грейфера имеет ограничения в 70м.			Более трудоемкий процесс проектирования и разработки ППР; необходимость дополнительного написания программы работы экскаватора; дороже чем технология работ с использованием грейфера.		

При анализе применения классических и нестандартных технологий, из выше указанных таблиц, можно сделать выводы:

- 1) применение полностью ручного метода производства работ в данных объемах полностью не оправдывают себя;
- 2) классическая технология с применением гусеничного экскаватора является наиболее дешевой, имеет большую апробированность и вариативность в применяемой

строительной технике, однако все еще требует большого количества квалифицированного труда, выполняемого людьми;

3) нестандартная технология с применением экскаватора по своей сути является роботизированным классическим методом производства работ и может выполняться с более высокой точностью, меньшими трудозатратами и меньшим количеством людских ресурсов, однако почти в 3 раза дороже классической технологии;

4) нестандартный метод с использованием грейфера наиболее перспективный метод для разработки котлована, он на 40% быстрее классической технологии, проще с точки зрения программирования чем технология с роботизированным экскаватором, однако требует дополнительного монтажа оборудования на строительной площадке, имеет ряд ограничений по габаритам разрабатываемого котлована, дороже классической технологии почти в 2 раза.

## **ВЫВОДЫ**

В данной статье были рассмотрены классические и нестандартные методы разработки котлована насосной станции градирни. Главный недостаток классической технологии заключается в необходимости наличия большого количества квалифицированного персонала, что может быть усугублено эпидемиологической обстановкой в настоящее время.

При оценке возможности применения новых технологий, а именно применения роботизированной и беспилотной техники возможно уменьшить количество людей на строительной площадке в 2,4 раза, увеличить производительность и качество выполненных работ, уменьшить трудозатраты и свести к минимуму травматизм.

В качестве двух основных методов разработки котлована были выбраны беспилотные экскаватор и грейфер, при сравнении которых, наиболее удобным и экономичным является козловой грейфер.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Воронков И.Е., Овинкин Н.В. Мировой опыт и перспективы разработки схем механизации строительства атомных электростанций // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 11. С. 1584–1596. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1584-1596

2. Булатов, М. С. Экономическая зависимость строительной отрасли РФ от трудовых мигрантов / М. С. Булатов, А. С. Бережной, М. Б. Гарипова. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2021. № 19 (361). С. 108-110. URL: <https://moluch.ru/archive/361/80770>

3. Плотников В.В., Сергеева Н.Д. Развитие технологий автоматизации и роботизации строительных процессов / Инновации в строительстве - 2020. сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию строительного института ФГБОУ ВО «БГИТУ». Брянск, 2020. С. 245-250.
4. Шагина Е.С. Роботизация как метод повышения безопасности строительного производства / Строительство уникальных зданий и сооружений 2020. № 6 (21). С. 128-147.
5. Гаспарян Л.Г., Самвелян Ц.Г. Современные технологии строительного производства в Российской Федерации / Образование и право. 2021. № 2. С. 125-127.
6. Степанов М.А., Беликова Е.В. Особенности применения роботов в строительстве / Строительные и дорожные машины. 2020. № 11. С. 48-53.
7. Воронков И. Е., Усманов Т. А. Логистические технологии, используемые при возведении атомных электростанций // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 2. С. 49-56. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.02.49-56
8. Журахонов Ж.С.У. Разработка технологий механизации и автоматизации работ на строительных площадках / В сборнике: сборник статей XII Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза, 2021. С. 106-109.
9. Тускаева З.Р., Дзуцев О.А. Роботизация в строительстве / В сборнике: Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции. Владикавказ, 2021. С. 40-44.
10. Voronkov I. E., Usmanov T. A. Reengineering of organizational and technological processes of NPP construction// Journal of Physics: Conference Series 1889. 2021. Pp. 022104. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/2/022104.

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ТРАНСПОРТНОГО ПОРТАЛА АЭС

**Дмитриев В.С.**

*студент 6 курса 14 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Воронков И.Е.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Строительство уникальных и масштабных проектов, таких как энергоблок АЭС, занимает довольно большой промежуток времени, расходует огромные трудозатраты. Необходимо искать различные пути повышения эффективности строительства сооружений АЭС, в том числе путем снижения трудозатрат при строительстве. В результате сравнения определено, что на возведение сооружения из сборных железобетонных конструкций расходуются наименьшие трудозатраты, следовательно при эквивалентных трудовых ресурсах понадобится меньше времени для строительства. Наиболее трудозатратным оказался традиционный вариант строительства с применением монолитных конструкций.

**Ключевые слова:** АЭС, строительство АЭС, транспортный портал, железобетон, трудозатраты.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Актуальность работы представляется недостаточной изученностью вопроса использования сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций при строительстве сооружений АЭС, традиционно проектируемых их монолитного железобетона. Цель данной научно-исследовательской работы состоит в оценке эффективности использования монолитных, сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций [1] при возведении транспортного портала здания реактора АЭС. Практическая значимость результатов заключается в начальной базе для пересмотра традиционного метода возведения транспортного портала АЭС (с использованием монолитных конструкций) и создания, в перспективе, проектов сооружения с применением сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Для реализации цели работы были решены следующие задачи:

- анализ научной литературы по теме, установление степени изученности вопроса;
- подсчет трудозатрат выполнения работ на возведение железобетонной части сооружения при использовании различных видов конструкций;
- вывод закономерностей и изменений при различных вариантах проектирования (использовании различных видов железобетонных конструкций).

При выполнении работы произведен поиск и анализ научной строительной литературы для подробного изучения вопроса и оценки его актуальности. Для поиска научной литературы использовались электронные ресурсы. Для оценки эффективности использования различных видов конструкций путем сравнения трудозатрат на возведение железобетонной части сооружения использовался документ «Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы» (ЕНИР).

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Чтобы учесть степень изученности темы, произведем краткий литературный обзор научной литературы по строительству и проектированию.

В статье Гарасюта А.В. «Технико-экономическое сравнение монолитно-каркасного и сборно-монолитного строительства» приводится сравнительный анализ индустриальных каркасных систем зданий гражданского строительства. Сравнялись: материалоемкость, стоимость каркаса. В результате приведены следующие выводы: сборно-монолитный каркас позволяет снизить материалоемкость и себестоимость каркаса в сравнении со сборным решением. [2]

Данная статья относится к гражданскому домостроению, поэтому результаты не корректно прямо соотносить с массивной железобетонной конструкцией энергетического объекта. В сравнение показателей не включено здание или сооружение, возводимое из монолитных конструкций. Тем не менее, стоит принять к сведению выводы, согласно которым сборно-монолитное решение выгоднее сборного в части расхода материалов, себестоимости каркаса.

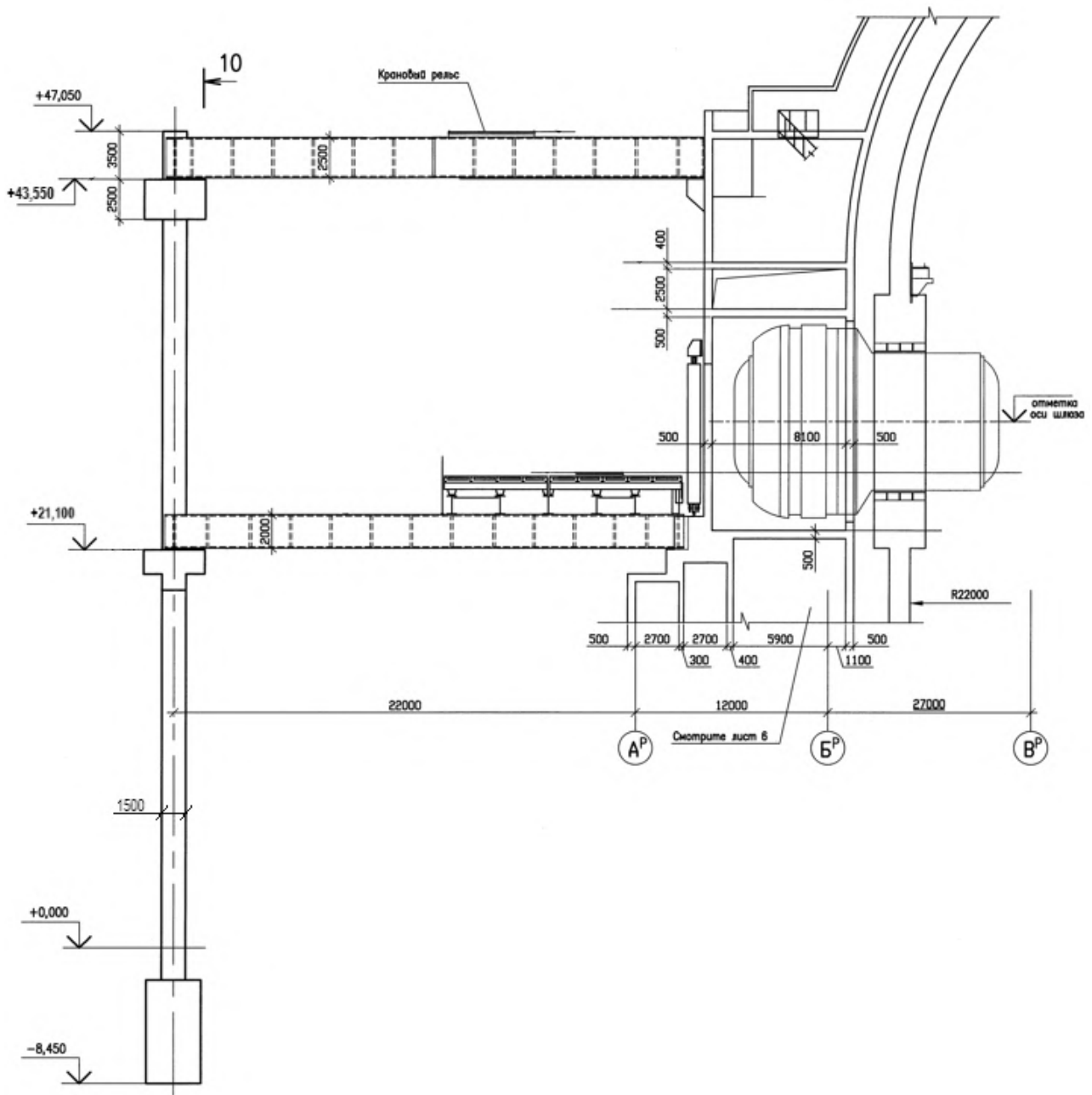
В статье Фиговского О. Л., Футорянского А. М. «Возведение многоэтажных зданий с монолитными железобетонными перекрытиями с помощью сборных крупноразмерных пространственных конструкций» предлагается новая технология возведения зданий, основанная на применении сборных железобетонных пространственных конструкций с изменяющейся геометрией, то есть, удобных для транспортировки [3]. Новая технология основана на совмещении методов возведения здания из сборного железобетона и монолитного железобетона. Для данной работы статья интересна тем, что в ней приведено

подробное сравнение эффективности применения сборных и монолитных железобетонных конструкций. Резюмируя, перечислим указанные в статье и касающиеся данной работы особенности технологий: монолитная – большие трудозатраты, продолжительное время строительства, высокая стоимость строительства; сборная – меньшие сроки строительства, трудозатраты, стоимость в сравнении с монолитным вариантом [4, 8].

Работа описывает преимущества и недостатки видов бетонных конструкций в целом, но не оценивается их эффективность применительно к массивному сооружению энергетического объекта. Статья не содержит данных о сборно-монолитных конструкциях. В статье даны теоретические данные, но отсутствуют расчеты трудозатрат и стоимостей, которые могли бы подтвердить сравнение видов конструкций [8].

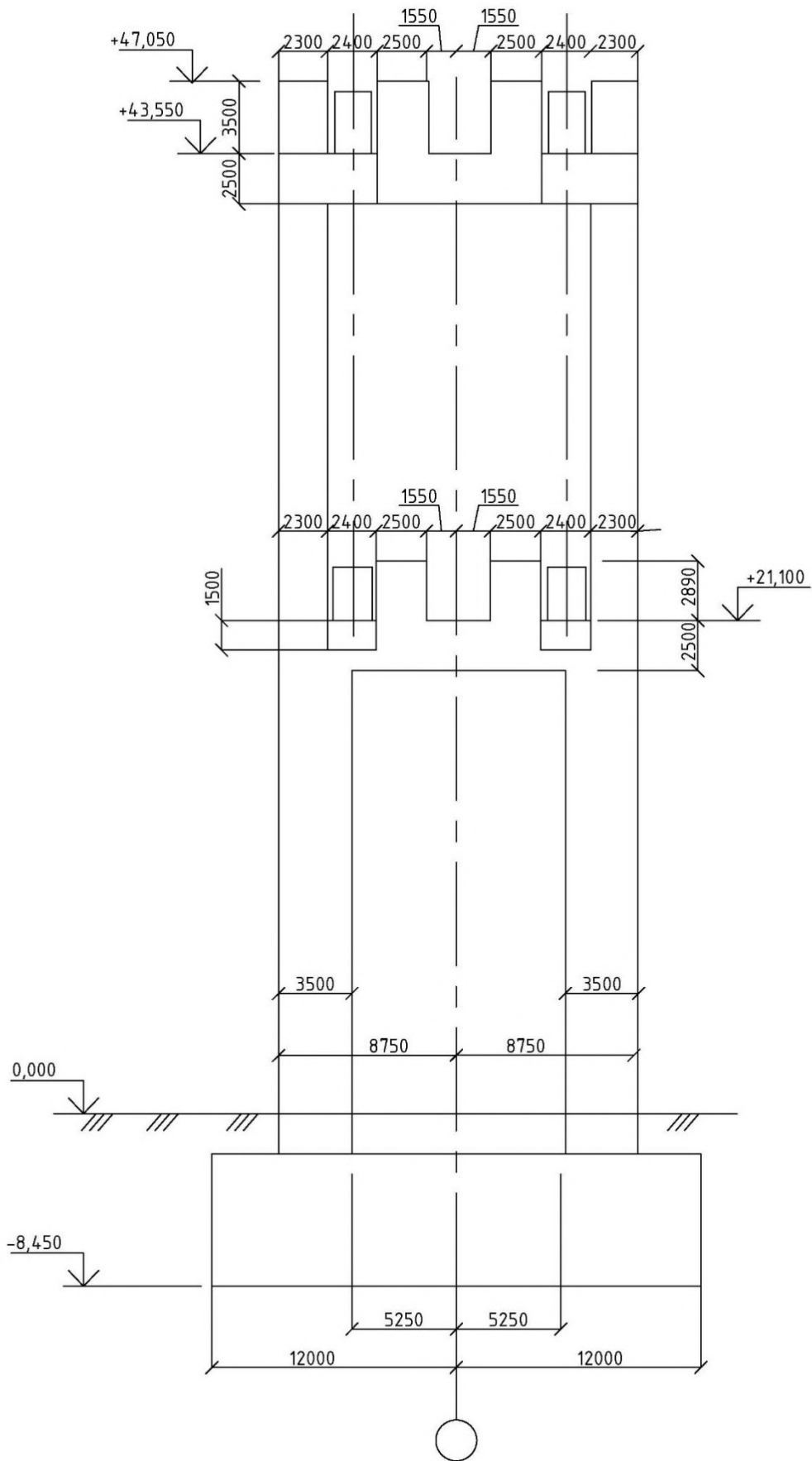
Статья Пушкарёвой Б.А., Коренькова П.А. «Сборно-монолитные железобетонные конструкции. Сферы применения и особенности расчета» раскрывает понятие «сборно-монолитные конструкции», указывает на обоснованность широкого применения таких конструкций в виду выгоды их применения, приводит особенности конструктивного расчета таких конструкций, предлагает новый вид сборно-монолитного перекрытия. Для данной работы статья полезна тем, что в ней четко описано понятие «сборно-монолитные конструкции», описана выгода этих конструкций. [5] Описание сборно-монолитных конструкций приведено на примере гражданских зданий, что не соответствует рассматриваемой теме. В статье отсутствует информация по сборному и монолитному железобетону, не приведено сравнений видов конструкций.

Транспортный портал здания реактора АЭС – сооружение, в простейшем случае, представляющее собой железобетонную раму (опору), металлическими балками примыкающую к зданию реактора (рис. 1, рис. 2). Сооружение необходимо для транспортировки крупногабаритного тяжеловесного оборудования, в реакторное отделение. Традиционно опора возводится из монолитных железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры.



**Рисунок 1.** Чертеж примыкания транспортного портала к зданию реактора АЭС





**Рисунок 2.** Размеры железобетонных конструкций транспортного портала

Как исходное условие принимаем запроектированный в монолитном решении транспортный портал здания реактора АЭС. Известны размеры и объемы (рис. 1, рис. 2).

Выпишем известные данные запроектированного в монолитном виде сооружения:

- Армирование колонн: 43412 кг;
- Опалубливание колонн: 432 м<sup>2</sup> (21,6 т);
- Бетонирование колонн: 382 м<sup>3</sup>;
- Опалубливание балок: 470 м<sup>2</sup> (23,5 т);
- Армирование и установка закладных балок: 43962 кг;
- Бетонирование балок: 168 м<sup>3</sup>.

Вес материалов взят с рабочего проекта-аналога для выполнения поставленных задач.

Работы по устройству фундамента не войдут в сравнение трудозатрат.

Таблица 1. Трудозатраты на возведение железобетонных конструкций портала с использованием монолитных железобетонных конструкций, вычислено по ЕННР.

№ п/п	Наименование процессов	Ед. изм.	Объе м работ	§ ЕННР	Норма времени		Затраты труда	
					Чел/ча с	Маш/ча с	Чел/ча с	Маш/ча с
1	Подача элементов для вязки арматурного каркаса	100т	0.873 7	§ Е1-7	27.40*	13.60*	23.94	11.88
2	Установка и вязка арматуры отдельными стержнями (колонн)	т	43.41 2	§ Е4-1-46	8.6	-	373.34	-
3	Установка и вязка арматуры отдельными стержнями (балок)	т	43.96 2	§ Е4-1-46	6.7	-	297.55	-
4	Подача опалубки к месту установки	100т	0.451	§ Е1-7	53.8*	26.9*	24.26	12.13
5	Установка опалубки (колонн)	м <sup>2</sup>	432	§ Е4-1- 34(Б)	0.4	-	172.8	-
6	Установка опалубки (балок)	м <sup>2</sup>	470	§ Е4-1- 34(В)	0.3	-	141	-
	Подача бетонной	м	48	§ Е4-1-	0.36	-	17.28	-

7	смеси бетононасосами			48(А)				
		100м <sup>3</sup>	5.5	§ Е4-1-48(В)	-	18	-	99
		100м	0.48	§ Е4-1-48(Г)	-	6.3	-	3.02
8	Укладка бетонной смеси в конструкции (колонн)	м <sup>3</sup>	382	§ Е4-1-49	1.1	-	420.2	-
9	Укладка бетонной смеси в конструкции (балок)	м <sup>3</sup>	168	§ Е4-1-49	0.89	-	149.52	-
10	Разборка опалубки (колонн)	м <sup>2</sup>	432	§ Е4-1-34(Б)	0.15	-	64,8	-
11	Разборка опалубки (балок)	м <sup>2</sup>	470	§ Е4-1-34(В)	0.13	-	61,1	-

\* – норма времени усреднена с учетом различных высот, на которые подается изделие.

Итоговые суммарные трудозатраты на устройство железобетонной части портала с применением монолитных конструкций вышли 1871,82 (чел/час; маш/час).

**Таблица 2.** Трудозатраты на возведение железобетонных конструкций портала с использованием сборных железобетонных конструкций, вычислено по ЕНИР.

№ п/п	Наименование процессов	Ед. изм.	Объем работ	§ ЕНИР	Норма времени		Затраты труда	
					Чел/час	Маш/час	Чел/час	Маш/час
1	Установка колонн на фундаменты и оголовки нижестоящих колонн до отм. +18,6	1 эл.	6 эл.	§ Е4-1-4	18,05*	3,86*	108,3	23,16
2	Установка колонн на оголовки нижестоящих колонн в отметках от +21,1 до +41,05	1 эл.	6 эл.	§ Е4-1-4	13,72*	2,89*	82,32	17,34

3	Установка колонн на оголовки нижестоящих колонн в отметках от в отметках до +43,55 от +47,05	1 эл.	2 эл.	§ Е4-1-4	8,84*	1,81*	17,68	3,62
4	Заделка стыков колонн в фундаментах, в колоннах	1 стык	10 стыков	§ Е4-1-25(А)	1,2	-	12	-
5	Установка балок массой до 70т	1 эл.	2	§ Е4-1-6	15,5*	3,1*	31	6,2
6	Заделка стыков балок и колонн (св. 2 элементов в узле)	1 узел	4 узла (стыка)	§ Е4-1-25	-	-	-	-
6.1	Устройство опалубки				1	-	4	-
6.2	Бетонирование стыков				1,2	-	4,8	-
6.3	Разборка опалубки				0,44	-	1,76	-

\* – значения нормы времени экстраполировались из-за массы элементов, превышающей табличные значения.

Чтобы оценить количество элементов и стыков, необходимо поделить конструкцию на сборные элементы. Нижние участки колонн до отметки +18,6 поделим по 3 сборные колонны по 6,2 м (32,55 т). Колонны между отметками +21,1 и +41,05 поделим по 3 сборные колонны длиной 6,65м (22,94 т). Участок колонн над верхней балкой в отметках +43,55 и +47,05 примем как сборные колонны длиной 3,5м (12,08 т). Балки между колоннами примем полностью сборными элементами длиной по 12,9 м, так как они имеют сложную геометрическую форму (70т). Итоговые суммарные трудозатраты на устройство железобетонной части портала с применением сборных конструкций вышли 312,18 (чел/час; маш/час).

**Таблица 3.** Трудозатраты на возведение железобетонных конструкций портала с использованием сборно-монолитных железобетонных конструкций, вычислено по ЕНИР.

№	Наименование	Ед.	Объе	§ ЕНИР	Норма времени	Затраты труда
---	--------------	-----	------	--------	---------------	---------------

п/п	процессов	изм.	м работ		Чел/час	Маш/час	Чел/час	Маш/час
1	Установка колонн на фундаменты и оголовки нижестоящих колонн до отм. +18,6	1 эл.	6 эл.	§ Е4-1-4	18,05*	3,86*	108,3	23,16
2	Установка колонн на оголовки нижестоящих колонн в отметках от +21,1 до +41,05	1 эл.	6 эл.	§ Е4-1-4	13,72*	2,89*	82,32	17,34
3	Установка колонн на оголовки нижестоящих колонн в отметках от в отметках до +43,55 от +47,05	1 эл.	2 эл.	§ Е4-1-4	8,84*	1,81*	17,68	3,62
4	Заделка стыков колонн в фундаментах, в колоннах	1 стык	10 стыков	§ Е4-1-25(А)	1,2	-	12	-
5	Подача элементов для вязки арматурного каркаса (балок)	100т	0,44	§ Е1-7	27.40*	13.60**	12,06	5,98
6	Установка и вязка арматуры отдельными стержнями (балок)	т	43.962	§ Е4-1-46	6.7	-	297.55	-
7	Подача опалубки к месту установки (балок)	100т	0,235	§ Е1-7	53.8**	26.9**	12,65	6,32
8	Установка опалубки (балок)	м²	470	§ Е4-1-34(В)	0.3	-	141	-

9	Подача бетонной смеси бетононасосами (балок)	м	44	§ Е4-1-48(А)	0.36	-	15,84	-
		100м <sub>3</sub>	1,68	§ Е4-1-48(В)	-	18		30,24
		100м	0,44	§ Е4-1-48(Г)	-	6.3		2,8
10	Укладка бетонной смеси в конструкции (балок)	м <sup>3</sup>	168	§ Е4-1-49	0.89	-	149.52	-
11	Разборка опалубки (балок)	м <sup>2</sup>	470	§ Е4-1-34(В)	0.13	-	61,1	-
12	Заделка стыков балок и колонн (св. 2 элементов в узле)	1 узел	4 узла (стык а)	§ Е4-1-25	-	-	-	-
12.1	Устройство опалубки				1	-	4	-
12.2	Бетонирование стыков				1,2	-	4,8	-
12.3	Разборка опалубки				0,44	-	1,76	-

\* – значения нормы времени экстраполировались из-за массы элементов, превышающей табличные значения; \*\* – норма времени усреднена с учетом различных высот, на которые подается изделие.

В сборнике ЕНиР не найдено позиций по работам со сборно-монолитными конструкциями в классическом понимании (использование несъемной железобетонной опалубки). Проведен поиск по сборнику ГЭСН, обнаружен пункт на устройство сборно-монолитных железобетонных стен и плит перекрытий зданий АЭС (таблица ГЭСН 06-01-141). Несущие конструкции транспортного портала – колонны и балки, что не соответствует названию пункта ГЭСН. При сопоставлении строительного объема и нормы времени из пункта ГЭСН трудозатраты получаются необъективно высокими – в несколько раз больше результатов трудозатрат, полученных при устройстве монолитных конструкций. Сделан вывод, что данный пункт ГЭСН не применим для подсчета трудозатрат работ на транспортном портале. Принято решение произвести анализ трудозатрат при смешанной сборно-монолитной конструкции портала. Колонны приняты сборными, по аналогии с

таблицей 3.2. Балки приняты монолитными по аналогии с таблицей 1. Трудозатраты посчитаны по сборнику ЕНиР. Итоговые суммарные трудозатраты на устройство железобетонной части портала с применением сборных и монолитных конструкций вышли 562,97 (чел/час; маш/час).

## **ВЫВОДЫ**

При помощи сборника «Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы» (ЕНиР), который позволяет использовать в учебных целях, были оценены трудозатраты по трем вариантам возведения транспортного портала здания реактора АЭС (рис 1, 2). Варианты возведения заключались в использовании различных видов железобетонных конструкций: монолитный (традиционный) вариант, вариант с использованием сборных конструкций, вариант со смешанной сборно-монолитной конструкцией портала. Сравнивая полученные в таблицах 1-3 суммы трудозатрат, оценили эффективность возведения транспортного портала в различных вариантах с точки зрения необходимого объема трудовых ресурсов [6].

В результате работы выявили, что использование сборных конструкций позволяет в значительной степени снизить трудозатраты на возведение железобетонной части портала, более того, такое решение будет эффективнее варианта с монолитными конструкциями и варианта со сборно-монолитной конструкцией портала. При равных трудовых ресурсах сборный вариант является самым быстрым. Но в результате работы также найден недочет этого варианта – необходимость монтажа тяжеловесной железобетонной балки весом 70т, а также в целом проработки вопросов логистики, а также разработки уникальных механизации [7]. При возможности использования для этой операции крана здания реактора (который способен монтировать часть оболочки здания реактора весом около 180т) этот недочет устраняется. В противном случае, лучшим вариантом из предложенных будет решение со сборно-монолитной конструкцией портала. Трудозатраты для этого варианта больше трудозатрат решения со сборными конструкциями всего на 250 чел/ч; маш/ч. Монолитное решение в части трудозатрат вышло наиболее неэффективным.

В результате работы оценили потенциал использования трех различных вариантов возведения транспортного портала здания реактора АЭС, выполнили поставленные задачи.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозенко А.А., Воронков И.Е. Повышение эффективности организационно - технологических решений при строительстве АЭС на основе современного российского и зарубежного опыта // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 10. С. 74–79.
2. Гарасюта А.В. Техничко-экономическое сравнение монолитно-каркасного и сборно-монолитного строительства // Наука и образование сегодня. 2018. № 29. С. 33-35;
3. Воронков И. Е., Усманов Т. А. Логистические технологии, используемые при возведении атомных электростанций // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 2. С. 49-56. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.02.49-56.
4. О.Л. Фиговский, А. М.Футорянский. Возведение многоэтажных зданий с монолитными железобетонными перекрытиями с помощью сборных крупноразмерных пространственных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2014. № 32. С. 1-16;
5. Пушкарёв Б. А., Кореньков П. А. Сборно-монолитные железобетонные конструкции. Сферы применения и особенности расчета // Строительство и техногенная безопасность. 2013. № 46. С. 30-35;
6. Воронков И.Е., Островский Р.В. Организационно-управленческие проблемы студенческих строительных отрядов как инструмента формирования кадрового потенциала строительной отрасли // Наука и бизнес: Пути развития. 2020. № 9(111). С.78-84. СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции».
7. Воронков И.Е., Овинкин Н.В. Мировой опыт и перспективы разработки схем механизации строительства атомных электростанций // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 11. С. 1584–1596. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1584-1596
8. Субботин А.С., Белых Т.А. Габионные конструкции в качестве эффективного решения в транспортном строительстве Транспортное строительство. 2018. № 3. С. 22-25.



# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СМР ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АЭС ОТ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

**Ратиани И.З.**

*студент 2 курса магистратуры 19 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Воронков И.Е.**

*кандидат технических наук, доцент кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

На данный момент стоит острая проблема со сдачей в эксплуатацию АЭС, во многом это связано с проблемами, возникающими при производстве строительно-монтажных работ. Проанализировав структуру себестоимости СМР можно заметить, что 60-75% трудозатрат при возведении главного корпуса во многом определяется от технологичности проектных решений, от того, насколько качественно закладываются в них прогрессивные способы организации и производства работ, технологичность оборудования, материалов и конструкции. Необходимо создание более четкой структуры организации на производстве посредством внедрения определённых систем автоматизации. Данные системы созданы для упрощения и повышения качества проработки, и создания проектов по строительству АЭС.

Оригинальность работы заключается в разработке новой модели и системы автоматизации для уменьшения сроков строительства без ущерба качества. Цель работы – установление потенциала и путей оптимизации строительного производства при использовании систем автоматизированного проектирования, планирования и управления строительством.

**Ключевые слова:** строительство АЭС, планирование, управление строительством, процессный подход, АСУ ТП.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Из-за длительного срока проведения строительно-монтажных работ при возведении главного корпуса снижается инвестиционная привлекательность строительства АЭС. Это может быть связано с недостаточной проработкой плана, возможных рисков в процессе строительства, отсутствие стандартизации и типизации производства [1].

Обобщая вышесказанное, для сокращения сроков проведения СМР без вреда качеству, необходимо разработать четкий план по производству работ от стадии

планирования процесса до стадии сдачи в эксплуатации. Для этого необходимо увязать основные автоматизированные системы производства.

Основными задачами для достижения поставленных являются:

- 1) Исследование влияния систем автоматизированного проектирования, планирования и управления на сроки и качества проведения строительно-монтажных работ;
- 2) Анализ и сравнение АСУ в отечественной и зарубежной практике строительства;

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

При выполнении работы будет проведен поиск и анализ данных в существующих литературных и информационных источниках по строительству АЭС. Будут использованы: описания лучших актуальных зарубежных практик внедрения АСУ, литература, посвященная производству СМР на АЭС [2], а также нормативные документы и федеральные законы об использовании АЭС.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Анализ существующих автоматизированных систем, применяемых при строительстве и проектировании АЭС. Одним из направлений развития атомной промышленности является создание и ввод в эксплуатацию АСУ ТП для АЭС. Можно выделить основные направления развития, целью которых является улучшение процесса создания и внедрения АСУ ТП АЭС:

– снижение периода проектирования АСУ ТП за счет применения общих принципов разработки технологического задания, применения в процессе проектирования автоматизированных систем проектирования;

– повышение качества окончательного продукта за счет применения прогрессивных методов при создании автоматизированных систем управления ТП.

Система автоматизированного проектирования. Основная цель разработки данной системы – это повышение качества и производительности труда работников с помощью снабжения новейшими технологиями. Оно реализуется следующими особенностями:

- снижение сроков сдачи объекта;
- сокращение первоначальной стоимости работ;
- повышение качества готового продукта;

Производственное планирование и управление процессом. Автоматизация производственного планирования является ключевой проблемой на сегодняшний день. При грамотной структуре планирования появляется возможность к быстрому реагирования в

условиях изменения рынка строительной сферы, снижается время производства, возможность форсирования различных форм организации производственных процессов.

«Проталкивающий» подход. Данная система позволяет определить общий состав и объем предварительно для контроля и сокращения времени на подготовку строительного производства, также система позволяет увязать производство.

«Вытягивающий» подход. Данный подход хорош тем, что позволяет скоординировать процесс производства и передачи информации между подразделениями.

В настоящее время широкую известность получили системный и процессный подход.

Основой системного подхода является то, что организация есть система, подсистемы являются индивидуальными частями, составляющие целую организацию [3]. Основные достоинства данного подхода концентрация внимания на целостность структуры организации, объединение команды работников ради достижения общей цели, оперативное реагирование на изменение внешней среды, объективность в принятии решений, сокращение текущих затрат деятельности при работе с большими объёмами.

Суть процессного подхода заключается в том, что компания рассматривается как совокупность взаимодействий процессов.

Технология построения процессного подхода:

- построение иерархии целей и задач;
- разработка моделей будущих процессов;
- анализ и корректировка полученных моделей;
- разработка системы мониторинга и контроля.

Основные цели автоматизации производственного планирования:

- быстрое установление вероятного срока производства продукции по запросу клиента;
- эффективное применение производственных ресурсов и снижение себестоимости;

Сравнение сроков строительства АЭС. Для оценки происходящего на строительстве АЭС необходимо понимать какая ситуация была в разных периодах времени в России. Ниже в табл. 3.1 представлено сравнение сроков строительства СССР и России.

**Таблица 3.1.** Сравнение сроков строительства СССР и России

№	Наименование	Ед. изм.	СССР	Россия
1	Количество введённых энергоблоков за 25 лет	шт.	54	8

2	Темпы ввода энергоблоков в год единичной мощностью по 1000МВт	шт.	до трех	3, до 2004 г.
3	Продолжительность строительства основного периода / монтажного тепломеханического оборудования	мес.	60/33	Более 110/53
4	Удельные трудозатраты тепломонтажных работ на 1 квт установленной мощности	чел- дн/квт	0,86/0,76	Более 1,25

Из сравнения видно катастрофичное отставание по ключевым показателям строительства энергоблоков АЭС с превышением поставленных сроков более 47 месяцев.

Ключевыми причинами, удерживающими уменьшение доли численности рабочих, занятых ручным трудом, является недостаточная заводская готовность оборудования и особенно трубопроводов, поставляемых заводами-изготовителями;

АЭС «Шинон», энергоблоки по 905 МВт № 1-4 - в 1982-1987 гг АЭС «Каттеном» - энергоблоки по 1300 МВт № 1-4 - в 1986-1991 гг. и ряд других. На сегодняшний день целевой срок строительства блока 1500-1600 МВт - менее 58 мес. [6].

Компания «Тошиба» (Япония), которая в 1996 г. энергоблок № 6 на АЭС «Кашивазаки-Карива» с реактором BWR построила за 50 мес. Строительно-монтажные работы были выполнены за 41 мес., после чего за 12 мес. выполнены пусконаладочные работы и физический пуск [6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изучения материалов были проанализированы и рассмотрены системы автоматизированного проектирования, планирования и управления производством. Обосновывается важная роль систем АСУ при проведении СМР. Производится детальное описание каждой системы автоматизации для понимания и сравнения. Также были рассмотрены и проанализированы сроки проведения строительно-монтажных работ на примере отечественных и зарубежных АЭС. [7]

Было произведено обоснование и формулировка цели и задач исследований при составлении статьи, описана актуальность данной темы на сегодняшний день.

Оптимальный выбор систем автоматизации и взаимосвязка их с организацией работ по возведению зданий и сооружений основного производственного назначения АЭС приведет к снижению времени на организацию строительного производства и проведению самих строительных работ на площадке.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Voronkov I., Ostrovskii R. Structure of realised risks of projects for construction nuclear power plant by Rosatom State Corporation in 2010-2020 //E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. Vol. 258. Pp. 09081. DOI: 10.1051/e3sconf/202125809081
2. Воронков И.Е., Овинкин Н.В. Мировой опыт и перспективы разработки схем механизации строительства атомных электростанций // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 11. С. 1584–1596. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1584-1596
3. Морозенко А.А., Воронков И.Е. Современные подходы к оценке надежности предприятий, участвующих в реализации инвестиционно-строительных проектов // Научное обозрение. 2017. № 12. С. 123-128
4. Морозенко А.А. Повышение устойчивости бизнес-процессов строительных компаний // Вестник МГСУ. 2009. №9. С.297-300
5. Зяблов А.А., Морозенко А.А., Теличенко В.И., Херувимов И.А. Цифровые форматы анализа данных для принятия управленческих решений на разных организационных уровнях при реализации сложных проектов капитального строительства // Сборник докладов Первой Национальной конференции. 2020. С.307-314
6. Ядерная энергетика за рубежом в 2007-2008 г. Состояние, проблемы, прогнозы. Обзор / Кудинов В.В., Волков Г.В., Соколова И.Д. - М.: Атоминформ, 2008. -200 с.
7. Морозенко А.А., Воронков И.Е. Повышение эффективности организационно - технологических решений при строительстве АЭС на основе современного российского и зарубежного опыта // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 10. С. 74–79.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ТБО

**Ромашова Е.И.**

*студент 4 курса 6 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Алабин А.В.**

*старший преподаватель кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

Темой данной статьи являются перспективные методы утилизации твердых бытовых отходов (далее – ТБО), анализ каждого метода, их плюсы и минусы. К основным способам утилизации ТБО можно отнести следующие: захоронение, компостирование, брикетирование и сжигание. Самым удачным методом, с точки зрения энергетики, строительства и экологии, является возведение мусоросжигательных заводов (далее МСЗ) по ряду причин. По сравнению с использованием полигонов, один из факторов «за» строительство мусоросжигательных заводов – это экономия денежных средств при транспортировке, использовании земли. В отличие от других методов утилизации ТБО, МСЗ имеет такие плюсы, как получение энергии, дополнительный доход от золы и шлаков, утилизация тепла, и минусы: трудность очистки выходящих в атмосферу газов, высокие капиталовложения в строительство и необходимость соблюдать состав сырья для лучшей работы. Самая большая проблема – экологическая, которую можно решить посредством современной технологии очистки выходящих в атмосферу газов, а именно – технология колосниковой решетки.

### ВВЕДЕНИЕ

Энергетическая ценность мусора сравнима со сланцем и древесной щепой. Поэтому отходы имеет смысл использовать для производства энергии (тепло, электричество) вместо того, чтобы складировать на свалках и полигонах.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На первый взгляд, процесс преобразования мусора в полезную энергию довольно прост. Мусоровозы привозят отходы на завод, где их взвешивают, сортируют и извлекают из него предметы, представляющие потенциальную опасность (например, ртутные градусники). Далее отходы подлежат измельчению и сжиганию на специальных решётках. Температура, при которой сжигаются отходы, достигает 1000°C. Любые органические соединения при такой температуре непременно разрушаются. Газы, выделяемые при

сжигании, обезвреживаются при помощи многоступенчатой системы фильтрации. Оставшиеся после утилизации шлак и металлы отправляются соответственно на строительные и металлургические предприятия в качестве вторсырья. Система фильтров позволяет задерживать вредные для здоровья человека вещества, и из труб завода выходят по большей части углекислый газ, азот и водяной пар [1, 2].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Несколько факторов в пользу строительства мусоросжигательных заводов (МСЗ) по сравнению с другими способами утилизации мусора: экономия на ГСМ из-за уменьшения допустимого радиуса строительства объекта (строится в черте города в радиусе 10 км). В то время, как для полигонов захоронения отходов радиус транспортировки от городского комплекса составляет около 30 км. При сжигании одной тонны отходов можно получить 1300-1700 кВт.ч тепловой энергии или 300-550 кВт.ч электроэнергии. Существует возможность реализации получаемого в процессе сжигания ТБО шлака и золы для получения дополнительного дохода. На всех мусоросжигательных заводах обеспечивается утилизация тепла и извлечение черного металлолома [3].

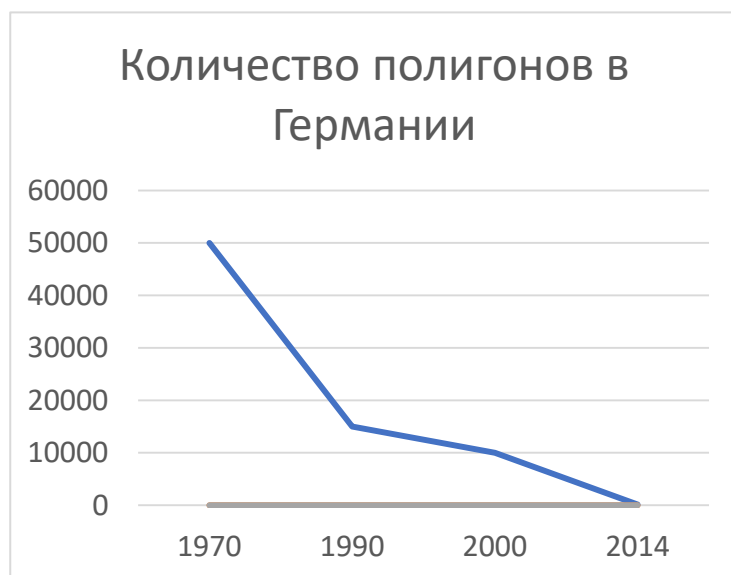
Однако существуют и несколько факторов против мусоросжигания как одного из способов утилизации ТБО. Главный недостаток мусоросжигательных заводов - трудность очистки выходящих в атмосферу газов от вредных примесей, высокие капиталовложения в строительство, обеспечение гарантированной поставки сырья. По мнению специалистов, объемы сжигания мусора на таком заводе большие, и, чтобы не допускать убыточности подобного проекта, руководству города необходимо поддерживать определенный установленный ввоз мусора на завод. Для наилучшей работы мусоросжигательного завода необходимо соблюдать состав сжигаемых отходов.

Одним из путей решения минимизирования расходов, связанных со строительством МЗС, является комбинирование такого завода с энергетическим оборудованием для получения различных энергоносителей на ТЭЦ с возможностью экспортировать полученную энергию [4].

Первое в мире место по количеству в стране мусоросжигательных заводов занимает Франция. Здесь такие заводы есть не только в небольших городах, но даже в Париже. Наличием подобных предприятий могут похвастать и другие крупные европейские города — Вена, Лондон, Берлин [5].

Завод в японском городе Нака способен разрушить любые стереотипы, сложившиеся относительно предприятий, утилизирующих мусор. Однако здесь всё по-

другому. Сам завод больше похож на декорации для кинофильмов о путешествиях в будущее, сплошь сделанный из металла и стекла. На заводе практически невозможно встретить людей — персонал в буквальном смысле отсутствует. Весь процесс компьютеризирован, и им управляют всего несколько человек.



Один из крупнейших заводов по сжиганию бытовых отходов находится в Рулебене (северная часть Берлина). Предприятию уже более 50 лет, и за эти годы оно значительно увеличилось в масштабах. На сегодня годовой объём утилизированных здесь отходов составляет 520 тысяч тонн. Также видно конкретное снижение количество использования полигонов для захоронения ТБО [6].

Однако, стоит отметить, что и в России данная технология начала пользоваться популярностью. Например, «Спецзавод №1» во Владивостоке использует выделяемый при сжигании пар на собственные нужды и «делится» энергией с городскими теплосетями. Для очистки выбросов здесь используются двухступенчатые фильтры, очищающие газы на 95% [5].

Не так давно завод начал принимать заказы от местных жителей и предприятий по вывозу и утилизации мусора. Освоена также переработка древесных отходов [7].

Мусороперерабатывающая индустрия Европы переживает строительный бум: сейчас на территории ЕС возводятся сразу 30 заводов «Энергия из отходов», которые должны хотя бы частично покрыть имеющийся дефицит мощностей. Примечательно, что на всех перерабатывающих предприятиях будет использована технология колосниковой решетки — та же, что и на будущих российских заводах, включая МСЗ под Казанью.

Практически все перечисленные заводы будут использовать технологию колосниковой решетки.

Она включает в себя несколько этапов:

Все начинается с очистки дымовых газов в котле, когда при температуре 1260°C уничтожаются все вредные вещества.

Второй этап проходит в реакторе сухой очистки, где гашеная известь и активированный уголь нейтрализуют кислоты и тяжелые металлы.



Третий этап — рукавный фильтр, который улавливает мельчайшие частицы пыли и летучей золы.

Аналогичная технология используется на всех заводах «Энергия из отходов», которые строит «РТ-Инвест» в Подмосковье и Татарстане.

## **ВЫВОДЫ**

Утилизация ТБО является актуальной проблемой на сегодняшний день. По результатам исследования самым оптимальным решением этого вопроса можно назвать сжигание мусора в специальных заводах с современной системой очистки. Данная технология является хорошей альтернативой захоронению, то есть созданию новых полигонов. Доказано, что строительство мусоросжигательных заводов позволяет в долгосрочной перспективе значительно снизить количество отходов. Также, основными аргументами являются: минимизация вреда экологии, прибыль благодаря экспорту тепло- и электроэнергии, воспроизводимой на мусоросжигательном заводе. Более того, данный объект будет окупаться, с учетом всех факторов, еще и за счет увеличения стоимости земли и снижения стоимости транспортировки мусора.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Сильги К. де. История мусора. М., 2011г.
2. Комплексная стратегия обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в Российской Федерации (утверждена приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 14 августа 2013 г. №: 298).
3. Грачев В.А. Никитин А.Т. Фомин А.С. и др. Обращение с отходами производства и потребления в системе экологической безопасности: научно-методическое пособие. МНЭПУ, 2009.
4. Тугов АН, Москвичев В.Ф. Использование энергopotенциала твердых бытовых отходов в России за рубежом // Энергия: экономика, техника, экология. 2011. №8. С.32-42.
5. Пупырев Е.И., Корецкий В.Е. Анопольский А.Б. Санитарная очистка Москвы от бытовых отходов: проблемы и решения // Энергия: экономика, техника, экология. 2011. №11. С. 38-48.
6. Tochilin A. V., Voronkov I. E., Alabin A. V. Experience and prospects of using robotics in the nuclear power industry // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1047. №. 1. Pp. 012193. DOI:10.1088/1757-899X/1047/1/012193

7. Хохлов В.В., Бугаец А.А. Защита окружающей среды от негативных последствий хранения и переработки РАО В сборнике: ДНИ СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУКИ. Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института гидротехнического и энергетического строительства НИУ МГСУ. Москва, 2021. С. 355-363.

# ОБОСНОВАНИЕ ПРОГРАММЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЭС В РОССИИ И ЕЁ АКТУАЛЬНОСТЬ

**Чернова Д.Н.**

*студентка 5 курса 14 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Алабин А.В.**

*старший преподаватель кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Объектом данного исследования является вопрос модернизации источников генерации тепловой и электрической энергии в РФ, а так же рассмотрены предпосылки к проведению описанного вида реконструкции.

Определена доля тепловой энергетики в общей генерации России и способы повышения эффективности и экологичности ТЭС. Рассмотрена стратегия модернизации тепловой энергетики. Определены объёмы и сроки финансирования. Доказана актуальность и необходимость проведения работ по модернизации угольных тепловых станций.

**Ключевые слова:** тепловая энергетика, модернизация, экология.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Тепловая энергетика – это основной поставщик тепловой и электрической энергии в Единую Энергетическую Систему (ЕЭС) России. Поэтому для развития экономики страны привлечение инвестиций в тепловую энергетику особо важно и имеет стратегическое значение<sup>1</sup>.

ТЭС составляет около 67% от установленной мощности ЕЭС России (более двух третей). В то же время почти половина тепловых электростанций достигла возраста 40 лет или превысила его. По результатам подсчёта около 44% ТЭС нуждаются в замене оборудования [1].

Изношенное до критического состояния оборудование тепловых электростанций ставит вопрос о надёжности эксплуатации станций, их безопасности, как для персонала, населения, так и для окружающей среды [2]. Взятый курс на улучшение экологического состояния нашей планеты – это мировая практика. Необходимо соответствовать принятым экологическим нормам и «озеленять» производство электрической и тепловой энергии.

---

<sup>1</sup>Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации (Минэнерго России). 2019. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/13844>. (Дата обращения: 01.02.2022)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выявленные ограничения по экологическим требованиям требуют опережающих действий по модернизации тепловой энергетики.

Отмечено, что большая часть парниковых газов в тепловой энергетике вырабатывается на угольных станциях. На них было выработано 12% энергии в 2020 году (рис. 1). В целом порядка 33,6% выбросов парниковых газов приходится на выработку тепловой и электрической энергии [4], [3].



**Рисунок 1.** Источники генерации в ЕЭС России в 2020 г.

Стратегия развития, принятая Правительством РФ, направлена на увеличение доли безуглеродного и низкоуглеродного производства электрической и тепловой энергии и является стратегией развития. Для достижения поставленных целей утверждена программа модернизации ТЭС на 2022-2031 годы. Предполагается модернизировать около 25% тепловой генерации ЕЭС России, что составляет до 41 ГВт установленной мощности ТЭС<sup>2</sup>. Часть электростанций, работающих на угле, переведут на газ.

Программа модернизации ТЭС предусматривает замену либо реконструкцию основного оборудования. Конкурентный отбор оборудования, соответствующего установленным Правительством РФ критериям, проводит Системный оператор Единой энергетической системы. В 2019 году проведен первый отбор проектов модернизации на 2022-2024 гг. и второй отбор на 2025 год. В 2020 году – на 2026 год. В 2021 году – на 2027 год.

<sup>2</sup>Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации (Минэнерго России). 2019. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/13844>. (Дата обращения: 01.02.2022)

На сегодняшний день в рамках программы реализуется 127 проектов модернизации тепловой генерации суммарной установленной мощностью 26,8 ГВт, что составляет 62 % от утвержденной Правительством РФ программы модернизации. Пять проектов предусматривают применение инновационных ГТУ отечественного производства суммарной мощностью 1,6 ГВт<sup>3</sup>. Некоторые из подлежащих модернизации станций, которые начнут поставки мощности после 31 января 2024 г. [8], изображены на рис. 2.



**Рисунок 2.** Некоторые генерирующие объекты и изменение их установленной мощности в результате модернизации на конец 2025 года

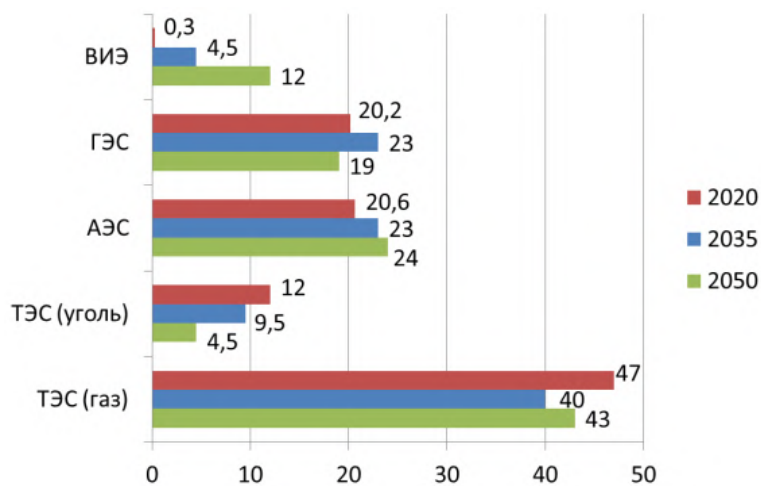
Николай Посыпанко говорит о больших затратах на модернизацию ТЭЦ, чем ГРЭС (КЭС), что отражается на результатах отбора. В европейской части России на 2026 год доля ТЭЦ, попавших в программу модернизации, составила 12% [6]. Учитывая вложение капитала энергетических компаний в модернизацию объектов энергетики, необходимо обеспечить поддержку со стороны Государства для стимулирования процессов замены оборудования. На рассмотрении в правительстве сейчас находится законопроект, согласно которому компаниям могут дать льготные займы. Они позволят повысить скорость и эффективность модернизации предприятий, ТЭЦ и других объектов-загрязнителей, которые вносят весомый вклад в загрязнение воздуха. Ожидается, что расходы энергокомпаний на модернизацию

<sup>3</sup>Пресс-релиз. Системный оператор единой энергетической системы. 2022. URL: <https://www.sops.ru/news/press-release/press-release-view/news/17508/>. (Дата обращения: 01.02.2022)

могут составить до 1 трлн рублей в год, а льготные кредиты будут способствовать снижению издержек на 10–15% и больше [8].

В рамках программы модернизации 2022 – 2031 гг. за счёт повышенных платежей потребителей электрической и тепловой энергии доходность инвесторов составит не менее 14% годовых. За счет программы Минэнерго рассчитывает привлечь в отрасль около 1,9 трлн руб. инвестиций [3].

Также уже принятая программа поддержки развития возобновляемых источников энергии со стороны Государства получила своё продление. Таким образом, до 2035 года планируется ввести дополнительно 8-9 ГВт электрической мощности, вырабатываемой ВИЭ (возобновляемыми источниками энергии) [7]. «В итоге мы добьёмся таких показателей, при которых доля безуглеродной и низкоуглеродной генерации, которая сегодня составляет 41%, к 2035 году составит около 47%, а к 2050 году – 56%», – заключил Николай Шульгинов [5] (рис. 3).



**Рисунок 3.** Доли генерации энергии в 2020 году и планируемые показатели на 2035 и 2050 год

По данным Министерства энергетики России планируется рост потребления электроэнергии до 43% к 2050 г., что составит примерно 1,5 трлн. кВт ч в год [3]. Если модернизацию энергетических мощностей не произвести вовремя, Единая Энергосистема России может не обеспечить покрытие запрашиваемых мощностей за счёт имеющихся ресурсов, что приведёт к дефициту электрической и тепловой энергии, чего ни в коем случае нельзя допускать, особенно в отопительный сезон.

Председатель Совета производителей энергии считает, что именно благодаря ТЭС и их независимости от различных факторов ЕЭС России удалось справиться с экстремальными климатическими условиями зимой 2020 – 2021 гг. без особых проблем. Чего нельзя сказать

об Америке, а конкретно о штате Техас, энергосистема которого не смогла справиться с аномальными морозами в феврале 2021 г. Солнечные и ветряные электростанции штата вышли из строя, цена электричества выросла в 300 раз [3].

## **ВЫВОДЫ**

Анализируя данные из перечня тепловых объектов, подлежащих модернизации до 31 января 2024 г., среднее значение капитальных затрат на реализацию проектов модернизации генерирующих объектов на ГВт установленной мощности составляет примерно 12 млрд. рублей [9]. По имеющимся данным для Калининградской области значение удельных капитальных затрат на 1 ГВт установленной мощности на строительство и эксплуатацию генерирующего объекта составляет чуть более 70 млрд. рублей [10]. Исходя из вышесказанного, затраты на модернизацию существенно ниже затрат на строительство. Однако следует учесть различные факторы, плюсы и минусы обоих решений.

Производить модернизацию тепловых станций можно, следуя нескольким вариантам – схемам. Выбор схемы зависит от конкретного объекта, целей модернизации и др. Необходимо произвести правильную технико-экономическую оценку различных вариантов и выбрать оптимальный.

В целом положительные стороны модернизации заключаются в проведении работ на уже освоенной территории с развитой инфраструктурой, транспортными сетями и коммуникациями.[11] Если грамотно разработать проект модернизации, то можно добиться понижения затрат, благодаря отсутствию необходимости остановки всех энергоблоков объекта генерации, поставляющих тепловую и электрическую энергию в ЕЭС России.

В свою очередь строительство новых тепловых станций осуществляется, зачастую, на новых площадках, которые требуют подведения коммуникаций, более дорогостоящего оснащения строительно-монтажной базы при расположении объекта на значительном удалении от мощного производственного центра, но в то же время размещение станции на новой площадке позволяет приблизить станцию в центр тепловой или электрической нагрузки.

Учитывая всё вышперечисленное, можно сделать вывод о том, что модернизация объектов тепловой энергетики важна и может быть охарактеризована стратегической необходимостью. Модернизация ТЭС – это забота о будущем населения страны, экономике Государства и планете в целом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бахметьева А. Энергетика: тенденции и перспективы: // Энергетика и промышленность России. 2020. №22. URL: <https://www.eprussia.ru/epr/402/5531397.htm>. (Дата обращения: 01.02.2022)
2. Морозенко А.А., Воронков И.Е. Проблемы оценки и повышения надежности элементов организационной структуры инвестиционно-строительного проекта // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 30-32
3. Максимов А. «Безуглеродные источники энергии в 2020 году заняли 40,8% в структуре российской генерации». 2021. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/21547>. (Дата обращения: 01.02.2022)
4. Волобуев А. Минэнерго хочет продлить модернизацию ТЭС после 2031 года: // Газета «Ведомости». 2021. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/10/15/891295-minenergo-modernizatsiyu>. (Дата обращения: 01.02.2022)
5. Шульгинов Н. Минэнерго намерено скорректировать энергостратегию РФ и расширить горизонты планирования в ТЭК. 2021. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/21745>. (Дата обращения: 01.02.2022)
6. Шульгинов Н. «В 2022 году мы обязаны выполнить амбициозную программу по догазификации». 2021. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/21978>. (Дата обращения: 01.02.2022)
7. Смертина П. Без вины гигаваттные: // Газета «Коммерсантъ». 2021. №2. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4640297>. (Дата обращения: 01.02.2022)
8. Воронов В. Все делают эко: // Газета «Известия». 2022. URL: <https://iz.ru/1282638/valerii-voronov/vse-delaiut-eko-energetikam-mogut-dat-lgotnye-kredity-na-zelenuiu-modernizatciiu>. (Дата обращения: 01.02.2022)
9. Об утверждении перечня генерирующих объектов, мощность которых поставляется по договорам купли-продажи (поставки) мощности модернизированных генерирующих объектов, с указанием мероприятий по модернизации, реализуемых в отношении соответствующих генерирующих объектов: Распоряжение правительства РФ от 7 февраля 2020 г. №232-р // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2020. - №7, (17 февр). – ст. 881.
10. Приказ Министерства энергетики РФ от 27 декабря 2018 г. N 1248 “Об установлении значений удельных (на 1 МВт установленной мощности генерирующего объекта) капитальных затрат в отношении генерирующих объектов тепловых электростанций, построенных и введенных в эксплуатацию на территории субъекта



Российской Федерации, не имеющего административных границ с другими субъектами Российской Федерации и не относящегося к территориям островов, - Калининградской области”: // Гарант.ру. 2019. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72058228/>. (Дата обращения: 16.02.2022)

11. Воронков И.Е., Овинкин Н.В. Мировой опыт и перспективы разработки схем механизации строительства атомных электростанций // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 11. С. 1584–1596. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1584-1596

# **ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА НА ВСПОМОГАТЕЛЬНУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ АЭС**

**Малахов Н.С., Бондарев И.В.**

*студенты 4 курса 6 группы ИГЭС НИУ МГСУ*

**Научный консультант: Кабанов А.С.**

*преподаватель кафедры СОТАЭ НИУ МГСУ*

## **Аннотация**

Предметом исследования данной работы является оказываемое влияние климатических условий различных районов строительства на капитальные и временные здания и сооружения вспомогательной инфраструктуры для возведения атомных электростанций. Отечественные проекты АЭС предусматривают наличие большого количества данных объектов на каждой строительной-монтажной базе строящихся станций, исходя из чего становится ясной необходимость повышения технико-экономических показателей вспомогательных зданий и сооружений для сокращения общих материальных затрат и объемов подготовительных работ, выполняемых перед началом фактического строительства самой станции.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Климатические условия района строительства для АЭС являются одним из важных факторов, влияющих на выбор состава объектов вспомогательной инфраструктуры, применяемых конструкций, принципиальных технических решений и строительных материалов для них.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Строительная монтажная база - база строительной индустрии, возводимая непосредственно на площадке будущей АЭС, ТЭС или иных объектов, для непрерывного обеспечения всех строительных процессов необходимыми материалами, конструкциями и производственными объемами. Использование СМБ при строительстве АЭС позволяет выполнять СМР эффективнее, так как обеспечивается: высокая концентрация материально-технических ресурсов, сокращение погрузочно-разгрузочных и складских работ, усиление контроля качества входящей продукции, максимальную комплектность поставляемых на

строительный объект материалов, определение очередности отгрузки материалов на строительный объект.

Климатические условия могут оказывать серьезные воздействия на конструкции и материалы:

При высокой интенсивности ветровых нагрузок, предусматривается защита от ветровых воздействий путем дополнительных ограждений. Так же для зданий, в которых располагается грузоподъемное оборудование применяются решения капитального строительства.

Высокий уровень влажности отрицательно влияет на микроклимат сооружения, влияет на скорость потери долговечности и ухудшает эксплуатационные качества как металлоконструкций, так и железобетонных конструкций. В связи с этим предусматривается качественная гидроизоляция и нанесение специальных защитных покрытий.

Осадки и их интенсивность имеют большое значение при проектировании, так как они способствуют увлажнению ограждающих конструкций. Если ограждения легкие, влага может достигать внутренней поверхности стены. Если стены массивные, влага не проникает внутрь помещения, но такие стены медленно высыхают, а при понижении температуры влага внутри конструкций замерзает и разрушает стены. Так же осадки увеличивают влажность грунта, повышается уровень грунтовых вод. Это опасно для зданий возможностью вспучивания грунта, затоплением подземной части здания. Количество выпадающего снега увеличивает нагрузку на крыши зданий. При проектировании покрытий учитывают возможность интенсивных снегопадов, создающих кратковременную нагрузку.

Условия жаркого климата характеризуются высокой наружной температурой и частыми ветрами, приводящими к быстрому обезвоживанию бетона, что замедляет и даже прекращает процессы гидратации цемента. Интенсивное раннее обезвоживание приводит к образованию капилляров, направленных в сторону испаряющей поверхности, что ухудшает поровую структуру бетона и, следовательно, снижает его долговечность. Обезвоживание приводит также к шелушению наружных слоев бетонной конструкции. В жарких условиях из-за негативного воздействия фактора обдувки горячим воздухом со взвешенным песком есть возможность минимизировать негативное воздействие путем обдувки заполнителей разных фракций холодным воздухом и поливкой водой. В связи с этим в состав БРХ должны включаться вентиляторные и водяные охлаждающие установки.

Так же возможно добавление поверхностно-активных добавок непосредственно при изготовлении бетонной смеси для снижения водопотребности и консервации консистенции изготавливаемой продукции, тем самым, становится обусловленной потребность в устройстве

дополнительных складов и специализированной лаборатории. Здания в жарко-сухих районах должны обеспечиваться свободной планировкой галерейного типа, способствующей интенсивному проветриванию застройки.

Особенностью северных регионов является глубинное промерзание почв и грунтов. Рыхлые грунты (песчаники, галечники и глины) в условиях вечной мерзлоты теряют монолитность, начинают подтаивать и смещаться в следствии нагревания грунта за счет возведенных сооружений. В северной строительно-климатической зоне рекомендуется проектировать здания простой прямоугольной формы в плане, без перепада высот. В тех случаях, когда перепад высот необходим по технологическим или технико-экономическим соображениям, его стремятся расположить с наветренной стороны или вдоль направления господствующих ветров. Фасады зданий следует проектировать без ниш, поясков и других элементов, задерживающих атмосферные осадки. Так же необходимо предусмотреть соответствующие теплоизоляционные мероприятия для сохранения комфортной температуры внутри здания.

Временными зданиями называют надземные подсобно-вспомогательные и другие объекты, необходимые для обслуживания производства строительно-монтажных работ. Они сооружаются только на период строительства. По назначению временные здания делят на производственные, складские, административные, санитарно-бытовые, жилые и общественные. По конструктивному решению, методам строительства, эксплуатации временные здания могут быть неинвентарными, сооружаемыми в расчете на однократное использование, и инвентарными, т. е. рассчитанными на многократную перебазировку и использование на различных объектах.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

На площадках строительно-монтажных баз используется большое количество временных сооружений, часть которых возводятся для специализированного назначения, включающее в себя всего лишь одну-две строительные операции. Из этого следует возможность использования альтернативных решений для временных сооружений, исключая капитальное строительство. Одним из решений, позволяющих значительно уменьшить сроки, стоимость и трудозатраты на возведение временных сооружений, являются легковозводимые надувные ангары.

Надувной ангар представляет собой быстровозводимую конструкцию, которая изготавливается из огнестойкого ПВХ материала, выполненного на полиэфирной основе, с дополнительным армированием нитями. Конструктивно это сооружение состоит из арочных

пневмобаллонов, которые сцеплены между собой. Именно они служат каркасом для установки верхнего тента и торцевых стенок.

При возведении надувного ангара нет необходимости использования средств механизации с высокой грузоподъемностью при доставке конструкции в разобранном виде на объект строительства в связи с ее легким весом. Так же нет необходимости использования оборудования высокой грузоподъемности при установке конструкции в проектное положение.

Для поддержания заданных геометрических параметров сооружения не требуется использование тяжелого габаритного оборудования, так как достаточно включения малогабаритного компрессора массой не более 150кг на непродолжительное время каждые 2-3 дня, чтобы поддерживать давление воздуха внутри пневмобаллонов.

Надувные ангара имеют ряд следующих преимуществ перед временным сооружениями капитального строительства, такие как:

1. Стоимость на порядок ниже в сравнении с затратами на аналогичное капитальное сооружение, так в среднем производители надувных ангаров, отталкиваясь от необходимой площади, указывают стоимость от 8500 рублей до 11000 рублей за квадратный метр.

2. Срок службы надувных ангаров составляет не менее 20 лет, что полностью удовлетворяет срокам строительства любой АЭС, выполненных по отечественным проектам (АЭС ВВР 1200, АЭС ВВР ТОИ).

3. Минимальные сроки изготовления и монтажа. К примеру, в Египте средняя продолжительность светового дня варьируется от 11 до 14 часов в зависимости от времени года, что позволяет установить надувной ангар без преждевременного подвода электроэнергии к месту возведения, пользуясь лишь дизель-генераторами для питания компрессоров.

4. Легкость транспортировки

5. Минимальные эксплуатационные расходы. Одним из основных аргументов в пользу надувных ангаров является отсутствие необходимости в постоянной подкачке пневмобаллонов, затрачивая на это дополнительную электроэнергию. Минимальные эксплуатационные расходы. Одним из основных аргументов в пользу надувных ангаров является отсутствие необходимости в постоянной подкачке пневмобаллонов, затрачивая на это дополнительную электроэнергию.

6. Возможность отказаться от использования искусственного освещения в дневное время благодаря использованию светопропускаемого ПВХ для обшивки ангара.

7. Высокие теплоизоляционные характеристики, обеспеченные воздухом в пневмобаллонах.

8. Возможность установки сооружения поверх оборудования или действующего объекта, такого как: Бетонно-растворное хозяйство, склады строительных материалов, транспортируемых автотранспортом, гаражи строительной техники и рабочего оборудования. Так же при применении дополнительных арматурных каркасов, позволяющих создавать форму надувных ангаров, при которой становится возможным габаритное размещение временного сооружения непосредственно над работающим козловым краном или иными погрузочно-разгрузочными механизмами с ограничениями лишь по высоте вылета стрелы.

Производство надувных ангаров обеспечивает их высокую надёжность вне зависимости от внешних погодных условий. Они могут использоваться в любой климатической зоне, легко переносят осадки. Все перечисленные преимущества делают надувные ангара выгодным решением в качестве временных сооружений, используемых как на строительном-монтажных базах, так и на пионерных базах АЭС, в котором объединяется стабильно высокое качество, надёжность и более доступная стоимость конструкции.

## **ВЫВОДЫ**

Из проведенного исследования влияния климатических условий различных зон строительства следует, что состав и расположение зданий и сооружений, а так же их конструктивные особенности на строительном-монтажных базах для АЭС, могут обладать индивидуальными особенностями технических решений и взаиморасположения относительно друг друга и АЭС.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гиннэ С. В. / О современных способах борьбы с атмосферной коррозией строительных металлоконструкций. УДК 69:620.193/.197
2. А.А. Морозенко, В.В. Белов, А.С. Кабанов / Организационно-технологические и компоновочные решения строительном-монтажной базы АЭС : учебное пособие; М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. – Москва : Издательство МИСИ-МГСУ, 2019.
3. Аблаева У.Ш. / Технологические методы улучшения долговечности бетонов в условиях сухого и жаркого климата Узбекистана. УДК 693.547.6

4. Бутенко Е. А. / Организация городского строительства. Курс лекций по дисциплине «Технология и организация в городском строительстве» В трех частях Части II и III. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. УДК 69.05(075.8)

5. Теличенко В.И. / Организация и технология строительства атомных станций. УДК 69.05. 2012