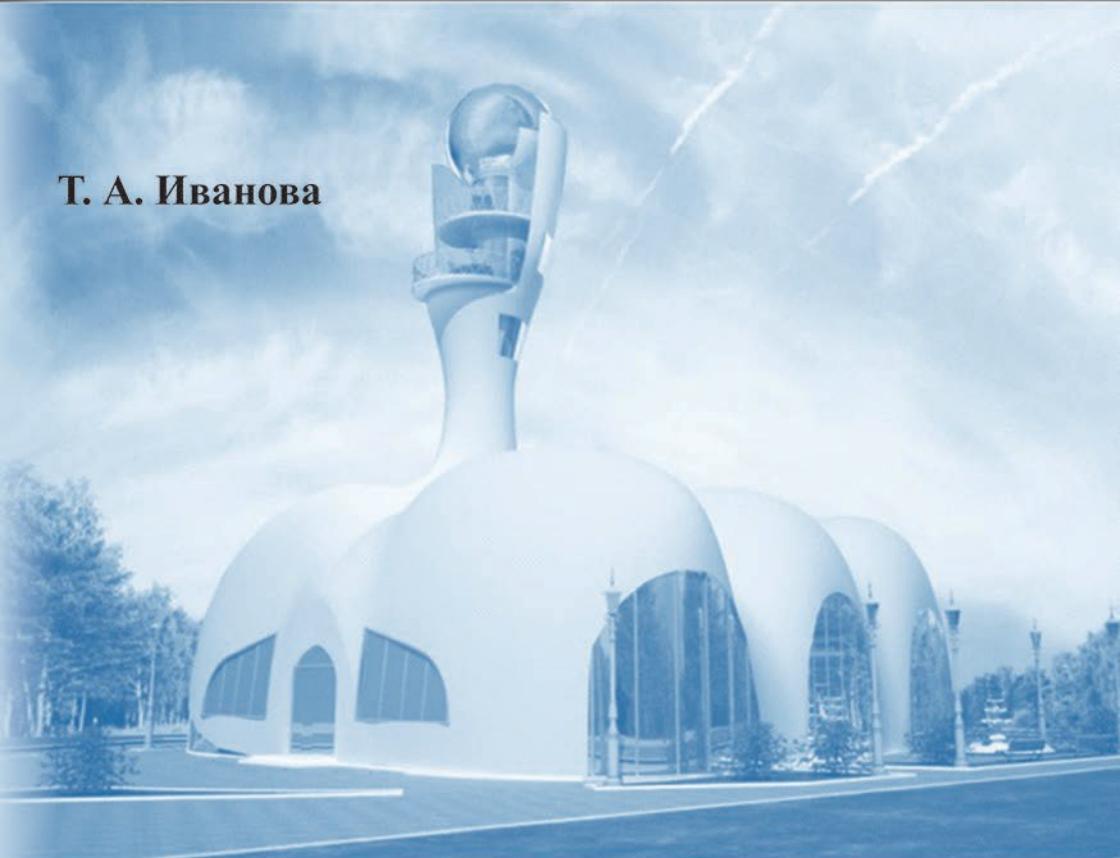


Т. А. Иванова



**ТЕХНОЛОГИИ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина»

Т.А. Иванова

**ТЕХНОЛОГИИ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Монография

Чебоксары
Издательский дом «Среда»
2024

УДК 69.0
ББК 38.5
И21

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор кафедры архитектуры
архитектурно-строительного факультета Кубанского государственного
аграрного университета им. И.Т. Трубилина, профессор ВАК

О. Г. Тарасова;

канд. техн. наук, ведущий инженер технического отдела
АО «Аварийно-технический центр Росатома», ЦАСПТР «ЭПРОН»,
действующий член научно-технического совета «АО «АТЦ-Росатома»,

О. С. Вертынский

Иванова Т. А.

**И21 Технологии торкретирования для строительства
и реконструкции зданий и сооружений: монография /
Т. А. Иванова. – Чебоксары: Среда, 2024. – 88 с.**

ISBN 978-5-907830-89-9

В монографии изложены основные сведения о технологиях торкретирования, представлены примеры использования торкретбетона для строительства и реконструкции зданий в России и за рубежом. Приведены практические примеры применения торкретжелезобетона в рамках проектирования зданий криволинейных очертаний, практический опыт использования технологии торкретирования при реконструкции сооружений, элементов зданий и памятников архитектуры. Даны принципы оценки эффективности параметров технологии торкретирования с точки зрения кластерного анализа. Издание предназначено для студентов высших учебных заведений по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», а также действующих проектировщиков и специалистов в области строительства и реконструкции зданий и сооружений.

УДК 69.0
ББК 38.5

ISBN 978-5-907830-89-9
DOI 10.31483/a-10679

© Иванова Т. А. 2024
© ИД «Среда», оформление, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Технологии торкретирования в области архитектуры, строительства и реконструкции зданий и сооружений.....	6
1.1. Опыт применения технологий торкретирования в строительной отрасли.....	6
1.2. Характеристики технологий торкретирования.....	7
1.3. Выбор материалов для торкретирования.....	17
1.4. Требования к свежесуложенному торкретбетону.....	19
1.5. Виды технологий торкретирования.....	23
1.5.1. Сухая технология торкретирования.....	23
1.5.2. Мокрая технология торкретирования.....	25
2. Кластеризация технологий торкретирования как системный подход в строительстве, реконструкции зданий и сооружений.....	28
3. Применение торкрет-железобетона при разработке зданий криволинейного очертания.....	30
3.1. Концепт-проект Выставочного центра в Сочи.....	30
3.2. Концепт-проект культурно-оздоровительного комплекса «Скорпион» в г. Хвалынский.....	39
4. Практический опыт применения технологии мокрого торкретирования при реконструкции зданий и сооружений.....	54
4.1. Реконструкция инженерных сооружений по технологии торкретирования.....	54
4.2. Усиление каменных фундаментов технологией торкретирования....	67
4.3. Применение технологии торкретирования для восстановления Церкви Благовещения Пресвятой Богородицы.....	70
4.3.1. Историческая справка.....	70
4.3.2. Техническое состояние церкви.....	72
4.3.3. Малые архитектурные формы.....	77
Заключение.....	83
Список использованных источников.....	85

Введение

Инновационное развитие строительства как отрасли происходит за счет внедрения новых материалов, технологий и конструктивных решений. Такая концепция связана, прежде всего, с приоритетными направлениями развития государства и ее экономической эффективностью для различных отраслей строительства. Технологии торкретирования могут дать новый виток развития строительной отрасли, так как торкретбетон относится к малоизученным видам бетона для России. Его обширные возможности применены в отечественном строительстве только лишь на 30%. Торкретбетон – быстротвердеющий материал, используемый для строительства и реконструкции путем бетонирования различных форм. Для успешного его использования необходимо четкое взаимодействие человека, машины и бетонной смеси. Торкретчику необходимы технические знания и практические навыки, а также опыт в применении данной технологии. Тогда сопловщик должен иметь возможность полностью полагаться на распылительную машину и базовую смесь для торкретирования. Именно это взаимодействие и качество каждого отдельного компонента в конечном итоге определяют успех применения торкретбетона.

Технологии торкретирования применяют для строительства здания различной конфигурации, создания архитектурных шедевров, реконструкции различных объектов строительства – от гражданских до промышленных. Благодаря своей уникальности, торкретбетон расширит горизонты строительной отрасли, что позволит перейти от традиционных прямоугольных форм к зданиям с криволинейными поверхностями.

В настоящее время в нашей стране практически отсутствует отечественный опыт применения данной технологии, по сравнению с традиционными методами. Поэтому возможность использования его в строительстве может вывести эту область на новую ступень развития. Эффективность и многогранность ис-

пользования технологий торкретирования может быть обоснована на различных примерах его применения. Но до сих пор она недостаточно востребована, и, как следствие, нет необходимой нормативной базы и специалистов, что препятствует развитию столь перспективной и многофункциональной технологии. Применение торкретбетона может дать более широкое определение понятию «монолитное строительство», т.е. разнообразному использованию конструктивных форм как при строительстве уникальных торговых и промышленных комплексов, так и в индивидуальном строительстве.

Автор выражает особую благодарность своим учителям – д.т.н., профессору Денисовой А. П., д.т.н. профессору, заслуженному строителю РФ, академику РААСН Маилян Л.Р. за поддержку и направление в научной деятельности.

1. Технологии торкретирования в области архитектуры, строительства и реконструкции зданий и сооружений

1.1. Опыт применения технологий торкретирования в строительной отрасли

Зарубежный опыт применения торкретбетона очень обширен и берет свое начало с 1907 г., когда была изобретена первая торкрет-машина Карлом Э. Эйкли. Изначально эту технологию применяли для строительства зданий круглой формы. Это давало возможность получить здания не только прочные, но и способные воспринимать ветровые нагрузки благодаря обтекаемой форме. В настоящее время существует целая база нормативных документов для проектирования и строительства зданий и сооружений из торкретбетона за рубежом. Объекты строительства разнообразны и включают в себя здания различной конфигурации, искусственные водоемы, бассейны, хранилища, водопропускные трубы, мосты, малые архитектурные формы (рисунок 1). Большую популярность эта технология имеет при строительстве тоннелей. При реконструкции технологии торкретирования применяются для усиления различных железобетонных, каменных конструкций, усиления инженерных сооружений, склонов с созданием архитектурного отделочного слоя (рисунок 2).

В Россию первые машины для торкретирования были завезены в 1920-х годах. В 1924–1925 гг. в СССР на Волховстрое был применен торкретбетон, где при использовании данной технологии были покрыты поверхности общей площадью 75 тыс. м², а в 30-х гг. подробно описаны прочностные характеристики торкретбетона и опыт применения инженерами П.Н. Глушке и С.Н. Дружининым.

Целесообразность применения технологии уплотненного бетона была доказаны еще в 1978 г., когда российские ученые провели комплексное испытание торкретбетона. Результаты этих испытаний показали, что бетон, нанесенный методом торкретирования, имеет повышенные прочностные показатели по сравнению с бетоном, уложенным по известному методу монолитного бетона. Результаты испытания приведены в табл. 1. Торкретное покрытие отличается высокой механической прочностью (на 28 сут. – 40–60 МПа), плотностью (приблизительно 2,4 кг/м³), водонепроницаемостью (не менее В12) и морозостойкостью (не менее Мрз 300). Уплотненный бетон, нанесенный

под высоким давлением, имеет высокие показатели сцепления с породами (кгс/см²): с мрамором – 30, гранитом – 10–18, известняком – 25.

Таблица 1

Комплексное испытание токретбетона

Метод укладки	Предел прочности				Марка бетона	
	Сцепление нового слоя с кирпичным основанием	На осевое растяжение	На срез	На сжатие	На морозостойкость	По водонепроницаемости
Токретирование	1,39	2,56	3,9	40,7	Мр-200	В-8
Обычный с уплотнением на вибростоле	0,62	2,09	3,2	29,0	Мр-150	В-4

Однако, в России токретбетон продолжают рассматривать просто как технологию, преимущественно, для реконструкции зданий и сооружений, а не как полноценный конструкционный материал, что значительно сокращает область его применения. На рисунке 2 представлены примеры применения токретбетона в России.

1.2. Характеристики технологий токретирования

За последние десятилетия технология токретирования получила дальнейшее развитие и значительно усовершенствовалась. Что касается объемов токретбетона, рынки и технологии перешли от сухого набрызгивания к мокрому. Однако это не означает, что более современное мокрое распыление заменит старую технологию сухого распыления, поскольку обе технологии разработаны для разных областей применения с особыми требованиями. В последние годы эти два метода стали позиционироваться бок о бок. Поскольку тонкоструйное оборудование намного меньше и проще в эксплуатации, сухое распыление в основном используется для нанесения меньших объемов токретбетона, например, при ремонте и специальных работах, таких как строительство пла-

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

вательных бассейнов или так называемых земляных домов. С другой стороны, мокрое напыление преимущественно используется в туннелях и горнодобывающей промышленности, где необходимо наносить большое количество торкретбетона за короткое время, например, для стабилизации горных пород. Типичные распылители с плотным потоком имеют номинальную производительность распыления до 30 м³ в час.

Ключевые проблемы, которые решает технология торкретирования при нанесении распылением, – это возможность бетонирования без опалубки, применение – торкретбетона в труднодоступных местах, изменяемая форма и размеры торкретбетона. Однако для решения этих ключевых вопросов необходимо обеспечить равномерную транспортировку (перекачивание/распыление), хорошее перемешивание в форсунке во избежание расслоения смеси, достаточное самоуплотнение струей распыления, необходимый уровень адгезии к основанию, низкий отскок, низкое пылеобразование. При этом можно получить улучшенную обрабатываемость, повышенную несущую способность, высокую долговечность (прочность, химическая стойкость, огнестойкость), высокую плотность / низкую выщелачиваемость, экологичность.

Возведение тонких оболочек с высокой степенью армирования; куполов; сводов (США)



Строительство и возведение новых архитектурных объектов с применением надувных воздушно-опорных опалубок (США)



Безопалубочное монолитное строительство зданий с крупнообразными, округлыми формами (США)



При индивидуальном жилищном строительстве (США)



Рис. 1. Примеры строительства зданий и сооружений из торкретжелезобетона зарубежом

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений



Строительство инженерных
сооружений (Германия)



Туннелестроение
(Германия)



Бетонирование участков сложных
криволинейных пространственных
конструкций переменного сечения
(США)



Строительство бассейнов
(США)



Строительство малых архитектурных форм (США)



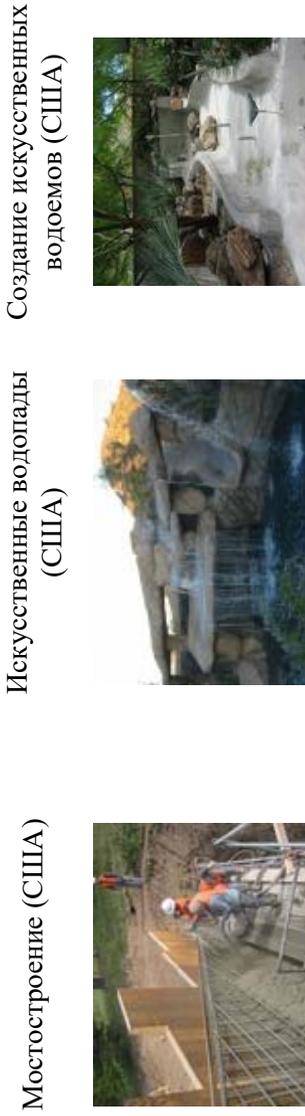


Рис. 1. Примеры строительства зданий и сооружений из торкрежелезобетона зарубежом

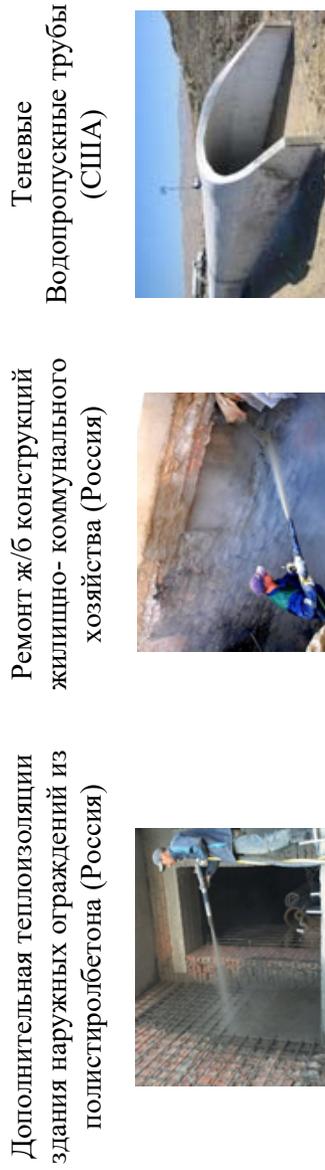


Рис. 2. Примеры реконструкции зданий и сооружений из торкрежелезобетона в России

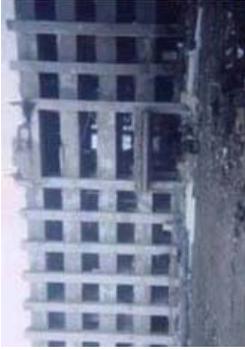
Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений



При реконструкции памятников архитектуры (Россия)



Ремонт зданий и сооружений, поврежденных
во время землетрясений, пожаров (Россия)



Усиление перекрытий и несущих
конструкций (Россия)



Защита скалов и откосов от разрушения, крепление стенок котлованов (Россия, США)



Рис. 2. Примеры реконструкции зданий и сооружений из торкрежелезобетона в России
и за рубежом

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

Ремонт и восстановление гидротехнических сооружений
(Россия)



Ремонт объектов под динамической нагрузкой
(Россия)



При устройстве и восстановлении футеровки, нанесении огнеупорных покрытий на сталеплавильных предприятиях (Россия)

Восстановление каналов для водопропускных и канализационных сооружений
(Россия)



Рис. 2. Примеры реконструкции зданий и сооружений из торкретжелезобетона в России

Таким образом, возможности технологии торкретирования достаточно обширны, имеют разные направления в строительстве, следовательно, его успешный опыт необходимо внедрять в отечественную практику строительства.

За последние годы изменилась не только технология напыления. Также были предприняты усилия по повышению безопасности людей и окружающей среды. Например, высокощелочные ускорители застывания и твердения торкретбетона были заменены современными бес-

щелочными ускорителями. Последние гораздо менее опасны при контакте с тканями человека, а кроме того, благодаря меньшему содержанию щелочи, долговечность торкретбетона значительно выше. Поскольку сегодня применяются гораздо большие объемы, чем раньше, используются механические распылители. Это позволяет оператору сопла работать на расстоянии нескольких метров от сопла и в гораздо более безопасной рабочей зоне, чем в непосредственной зоне земляных работ при прокладке туннелей. Таким образом, роботизированное распыление значительно повысило безопасность работников.

Торкретбетон можно доставлять и наносить двумя разными способами: либо с помощью процесса тонкоструйного процесса, либо с помощью процесса плотного потока. При тонкоструйном процессе (рисунок 3) базовая смесь подается пневматически, продувается по линиям подачи сжатым воздухом к распыляемой форсунке. Такой процесс подходит для сухого и мокрого торкретирования.

Недавно разработанный процесс плотного потока (рисунок 4) очень похож на перекачиваемый бетон: перекачиваемая базовая смесь для торкретбетона подается в сопло и оттуда с помощью сжатого воздуха подается на опалубку. Этот процесс подходит только для мокрого торкретбетона. В обоих процессах распыления базовая смесь проходит через сопло с очень высокой скоростью (около 30–40 м/с). Формируется струя и добавляются другие соответствующие компоненты смеси, такие как вода для сухого торкретбетона, сжатый воздух для процесса плотного потока и, при необходимости, ускорители торкретирования. Впоследствии набрызг-бетонная смесь с высокой скоростью подается на основание, что приводит к непрерывному образованию на основании полностью уплотненной структуры торкретбетона. Это дает большое преимущество перед традиционными методами бетонирования: бетонирование без опалубки; высокая энергия удара распыляемого материала обеспечивает хорошее сцепление с подложкой. Из-за высокой кинетической энергии распыляемого материала изначально все крупные заполнители при первом проходе теряются из-за отскока. Таким образом, на границе раздела образуется тонкий слой оставшегося песка и связующей пасты, который также под давлением проникает в мельчайшие трещины и пустоты на поверхности основы, создавая превосходный связующий слой. Помимо этого положительного эффекта для создания связующего слоя на начальном этапе распыления, отскок обычно приводит к нежелательным потерям материала и затратам. Поэтому экономические и технические соображения привели к ограничению наибольшего размера зерен такого торкретбетона, обычно до 8 мм. Поскольку кинетическая энергия частиц увеличивается в зависимости

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

от радиуса сопла, более крупные агрегаты составляют очень непропорциональную часть отскока. Ограничение толщины смеси до 0–8 мм снижает отскок, например, до менее 10 % для мокрого торкретбетона, и получается чистая и однородная поверхность торкретирования, которая может удовлетворить эстетические и технические требования без необходимости какого-либо дополнительного тонкого слоя.



Рис. 3. Процесс тонкоструйного торкретирования



Рис. 4. Торкретирование методом плотного потока

Важную роль также играет разработка добавок для торкретирования. Как уже упоминалось, новые ускорители торкретирования повысили уровень безопасности и гигиены труда. В то же время эти разработки означают, что для достижения того же эффекта требуется меньше химикатов. Такое сокращение количества ускорителей торкретирования также значительно увеличило долговечность и конечную прочность торкретбетона на сжатие. Кроме того, суперпластификаторы последнего поколения не только снижают потребность в воде и повышают удобоукладываемость, но также сочетаются с ускорителем торкретирования и связующим для достижения оптимальных характеристик торкретирования.

Синтетические волокна все чаще используются вместо стальных для улучшения несущей способности торкретбетона. Двумя ключевыми преимуществами синтетических волокон является то, что они не подвержены коррозии и отсутствует риск травм, если волокна выступают из торкретбетона. В отличие от обычного бетона, высокие требования к набору прочности, большая площадь поверхности заполнителя и немедленная адгезия к основанию требуют более высокого содержания вяжущего. По экономическим причинам, повышенным требованиям к долговечности и устойчивости, содержание цемента в последние годы неуклонно снижается и частично заменяется такими добавками, как летучая зола. Поэтому на сегодняшний день торкретирование представляет собой гибкую, экономичную и быструю технологию строительства, но она требует высокой степени механизации и обученных операторов торкрет-установок.

1.3. Выбор материалов для торкретирования

Состав смеси должен быть специально разработан для получения водонепроницаемого торкретбетона, что должно быть подтверждено перед использованием как в лаборатории, так и в полевых испытаниях с реальными материалами. Необходимо принять все меры, чтобы торкретбетон был плотным и не имел трещин. Фундаментальным фактором водонепроницаемости торкретбетона является снижение содержания воды в базовой смеси. Любая вода, добавляемая сверх количества, необходимого для полной гидратации, приводит к пористости конечного торкретбетона и, следовательно, к водопроницаемости. По этой причине использование суперпластификаторов является обязательным, а разумное снижение содержания воды является необходимым условием для достижения высокого раннего набора прочности и длительного срока службы торкретбетона. Для достижения оптимальной плотности торкретбетона необходимо учитывать весь состав смеси, например, тип и содержание цемента, использование дополнительных вяжущих материалов (например, микрокремнезем) и выбор бесщелочного ускорителя. На начальном этапе только что нанесенной торкрет-облицовки в созревающем торкретбетоне могут образовываться трещины, что является еще одним важным аспектом водонепроницаемости. Помимо подбора смеси, необходимо принять другие меры предосторожности, чтобы защитить поверхность от высыхания и уменьшить растрескивание, например, используя микросинтетические волокна. Примеси усиливают самовосстановление.

Особым преимуществом нанесения торкретбетона является процесс распыления. При укладке торкретбетона это делается в несколько более тонких слоев. Два слоя торкретбетона, обычно наносятся с интервалом в несколько рабочих смен, а затем герметизируются цементной пастой из последующего слоя торкрет бетона. Это сводит к минимуму появление трещин и, прежде всего, предотвращает появление трещин, проходящих по всей поверхности торкретбетона. В частности, при нанесении торкретбетона через армирующую сетку, необходимо следить за тем, чтобы за сетками не образовывались тени от распыления. Для этого требуется специально обученный и опытный специалист по распылению, а также хорошие свойства базовой смеси, например, сыпучая смесь.

Точно так же, как торкретбетон является не просто продуктом из сырья, а результатом сочетания материалов, оборудования и применения, его водонепроницаемость – как часть его качества – зависит от такого же сочетания качеств каждой отдельной детали, как и его водонепроницаемость.

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

В зависимости от его использования, например, в качестве откоса или стабилизации котлована, а также от инженерных требований к конструкции в качестве временной или постоянной облицовки, требования к торкретбетону сильно различаются. Таким образом, каждая отдельная проектная ситуация требует индивидуального определения всех соответствующих параметров, которые будут влиять на свойства и требования к торкретбетону на всех этапах и в различных состояниях, от свежего до окончательно затвердевшего торкретбетона. Очень важно знать точные потребности конкретного объекта, поскольку в противном случае очевидно невозможно определить правильные материалы, состав смеси или тип и метод укладки торкретбетона.

В первом приближении требования к базовой смеси для торкретбетона основаны на методе обработки торкретбетона, т. е. методе тонкоструйного или плотного потока. В частности, необходимо внимательно соблюдать требования к влажной торкретной смеси.

Однако здесь также можно увидеть тесную взаимозависимость материалов и обработки, а требования к технологичности также оказывают прямое влияние на качество готового торкретбетона. Влажная базовая смесь для торкретирования должна обеспечивать ее время работоспособности. Оптимальный график доставки торкретбетона обычно означает, что базовая смесь торкретбетона доставляется на объект как можно раньше после земляных работ и масштабирования, но затем она должна оставаться работоспособной в течение как минимум двух-трех часов.

Прокачиваемость торкретбетона основана на хорошо сбалансированном сочетании нескольких особенностей:

– вязкость равно текучесть. То есть смесь должна быть достаточно жидкой, чтобы течь через поршневой насос и шланги системы. Следовательно, слишком высокая вязкость является существенным критерием исключения прокачиваемости торкретбетона. И наоборот, хотя низкая вязкость обеспечивает общую текучесть смеси, она не является гарантией прокачиваемости, т.е. текучести в конкретных возникающих условиях, таких как высокое давление и узкие, извилистые трубопроводы. Поэтому следующие два параметра также обязательно должны выполняться;

– смазка равно снижение трения между агрегатами (внутренними) и на границе с насосными линиями. Основную объемную долю торкретирования составляют заполнители. Работая под давлением, они должны постоянно и с наименьшими затратами энергии перемещаться друг вокруг друга, что противоречит их природе. Именно паста торкрет

смесь создает это свойство, смазывая поверхность заполнителей и позволяя им скользить друг мимо друга. Кроме того, паста также оказывает внешнее смазочное действие, сводя к минимуму трение между смесью и поверхностью труб;

— сплоченность равно поддержание однородной смеси, не разделяющейся и без расслоения. Оба вышеупомянутых параметра – достаточная текучесть смеси (вязкость) и смазка агрегатов – сильно зависят от сохраняющейся однородности смеси. Паста не должна отделяться от агрегатов в данных условиях, как и сама паста не должна отделяться (вытекать);

— распыляемость. Помимо прокачиваемости, свежая торкретсмесь также должна равномерно проходить через сопло, хорошо и легко диспергироваться для однородного смешивания с ускорителем перед распылением и уплотнением окончательного торкретбетона на основании. Распыляемость, характеризующаяся текучестью и низкой липкостью, является важной предпосылкой оптимального качества наносимого торкретбетона.

1.4. Требования к свежеуложенному торкретбетону

Основная цель свежеуложенного торкретбетона – быстрое обеспечение сцепления с поверхностью опалубки. Торкретбетон представляет собой превосходный материал для этой цели, который быстро набирает начальную прочность, а благодаря роботизированным манипуляторам-распылителям это теперь может быть достигнуто безопасным методом нанесения для оператора форсунки. Образование пыли при нанесении торкретбетона является одним из серьезных проблем, связанных с работами по торкретированию. Распыляемая пыль состоит из мельчайших частиц смеси (особенно цемента), а также ускорителя, выделяющегося со вторичным воздухом. Он сильнощелочной /едкий и поэтому вреден для глаз и дыхательных путей. Отскок отрицательно влияет на экономическую и временную эффективность всего процесса распыления из-за потерь материала, дополнительной транспортировки материала, а также дополнительной утилизации отходов. Более того, это имеет последствия для снижения качества торкретирования: поскольку большая часть отскока материала всегда будет происходить из более крупного размера зерен, состав торкретбетона существенно ме-

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

няется по сравнению с его конструкционной концепцией и, возможно, его предполагаемыми характеристиками. Для уменьшения проблем с пылью и отскоком можно принять различные меры:

- оптимизация состава смеси. Равномерное распределение заполнителей требуется по многим причинам, однако слишком большой размер зерен может привести к сильному отскоку, поэтому торкретирование обычно ограничивается смесями размером 0–8 мм. Благодаря мелкому содержанию заполнителей также вносят свой вклад в общее образование пыли. Объем пасты (связующее вещество, мелочь, вода), превышающий необходимый для смазки объема, приведет к образованию ненужного количества пыли;

- уменьшение нормы распыления ($\text{м}^3/\text{час}$). Скорость распыления не должна превышать предел мощности оборудования. Обычно это приводит к большим потерям отскока, падениям и низкому качеству торкретирования (и определенно не к максимальной скорости нанесения торкретбетона). Кроме того, высокая производительность распыления значительно увеличивает образование пыли;

- сокращение потребления сжатого воздуха. Если сжатый воздух плохо сбалансирован с выходом торкретбетона, это приведет к избытку пыли;

- уменьшение дозировки ускорителя. Если дозировка ускорителя слишком высока, торкрет-бетон затвердевает слишком быстро. Из-за трения на сопле, а также из-за снижения адгезии к основе образуется больше пыли и увеличивается отскок;

- использование специальных ускорителей вместо щелочи. Бесщелочные ускорители вместо щелочных продуктов снижают едкие свойства пыли. Особенно это касается фракции пыли, поступающей из бокового потока воздуха.

Важным свойством торкретбетона является его сильная адгезия к основанию. Это важно, прежде всего, для возможности вертикального и потолочного нанесения. Кроме того, такое прочное соединение торкретбетона с основанием приводит к высокой несущей способности торкретфутеровки в сочетании с основанием. Когда распыление начинается либо на каменном основании, либо на предыдущем затвердевшем слое торкретбетона, обычно нежелательный отскок способствует образованию очень прочного адгезионного слоя. Из-за высокой кинетической энергии распыляемого материала и его распыления на жесткую, негибкую основу все крупные заполнители при первом проходе теряются в виде отскока. На границе раздела образуется тонкий слой оставшейся пасты из

песка и связующего, который также под давлением продавливается в мельчайшие трещины и пустоты поверхности основания, создавая превосходный, обогащенный цементом связующий слой.

Впервые несколько минут после нанесения торкретбетона поглощение энергии решающее значение имеют прочность сцепления и уплотнение торкретбетона. Точная подача разумного количества сжатого воздуха, а также оптимальное расстояние от сопла до подложки являются ключевыми параметрами на данный момент. Следствием недостатка воздуха является слишком низкое уплотнение бетона, что, в свою очередь, отрицательно повлияет на конечную прочность на сжатие. Слишком много воздуха приводит к образованию чрезмерной пыли и увеличению потерь на отскок. Кроме того, мелкие частицы цемента и ускорителя, теряющиеся в виде пыли, являются потенциально важными компонентами, которых не хватает для оптимального набора прочности. Соответственно, неправильное расстояние сопла, слишком большое или слишком близкое к подложке, приведет к аналогичным эффектам.

Ранее застывание / схватывание, примерно до 2 часов после распыления: несмотря на то, что базовая смесь для торкретбетона должна быть жидкой и перекачиваемой, ее консистенция должна стать жесткой сразу после распыления.

В зависимости от того, используется ли торкретбетон в качестве временной оболочки или в качестве окончательной оболочки, требования, очевидно, различаются, особенно в отношении ее долговечности. Окончательная прочность на сжатие торкретбетона в основном определяется типом цемента и общей конструкцией смеси, например, сортностью, соотношением вода/цемент (соотношение вода/цемент), типом ускорителя.

В зависимости от типа опалубки торкретбетон обычно слишком хрупкий и требует усиления для обеспечения необходимой несущей способности. Это армирование может быть достигнуто классическим способом с помощью проволочной сетки и/или стальной арматуры или в качестве внутреннего армирования путем добавления волокон во время производства базовой смеси.

Существует множество параметров, от материалов базовой смеси до навыков специалиста по напылению, которые оказывают существенное влияние на долговечность торкретбетона, например, водоцементное соотношение, тип цемента и количество добавок, кривая сортировки, а также качество нанесения.

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

Долговечность также является собирательным термином, включающим несколько свойств торкретбетона:

— водонепроницаемость. Если торкретбетон слишком проницаем и/или давление грунтовых/горных вод слишком высокое, вода может проникнуть в структуру торкретбетона. В результате поглощения воды в торкретбетон и из него становятся возможными два типа разрушения цементной матрицы: либо за счет химического воздействия растворенных веществ из окружающих подземных вод, либо за счет выщелачивания химических компонентов из торкрет-матрицы. В этом отношении плотность торкретбетона является ключевым фактором для долговечности торкрет футеровки. Существенное значение имеют такие меры, как снижение содержания цемента, замена клинкера или добавление добавок (например, летучей золы, микрокремнезема), а также снижение соотношения вода/цемент.

— устойчивость к химическому воздействию. В частности, именно сульфатное воздействие приводит к химическому разложению гидратов цемента, например, за счет замедленного образования этtringита, вызывающего механическую силу из-за давления кристаллизации, или образования таумазита, приводящего к разложению цементной матрицы. Поэтому важно значение самой опалубки (рисунок 5). Например, если облицовка из торкретбетона выполняется для туннеля, то она должна противостоять такому типу воздействия, как взаимодействие с химической природой воды горной породы, выступающей в качестве опалубки. Это достигается либо подходящим выбором материалов, например, использованием сульфатостойкого цемента и меры по гидроизоляции, такие как снижение водоцементного соотношения и добавление микрокремнезема.

— устойчивость к замораживанию / оттаиванию. Для стабилизации откосов торкретбетон, как и любой другой бетон, должен выдерживать неблагоприятные зимние условия, и с этой целью необходимо принять соответствующие меры. Именно давление кристаллизации замерзающей воды внутри матрицы торкретбетона является причиной повреждений от мороза. Соответственно, подходящие меры по улучшению устойчивости торкретбетона, подвергающегося воздействию низких температур, заключаются в увеличении его плотности/водонепроницаемости, чтобы уже предотвратить попадание воды в конструкцию. Кроме того, введение небольших воздушных пустот улучшает стойкость торкрет бетона к замораживанию-оттаиванию, создавая пространство для расширения замерзающей воды внутри цементной матрицы. Для этой цели имеются специальные воздуховлекающие добавки.

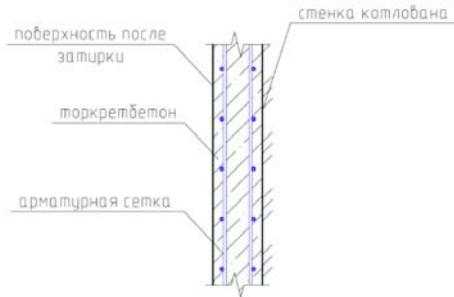


Рис. 5. Схема конструкции безопалубочное торкретирование

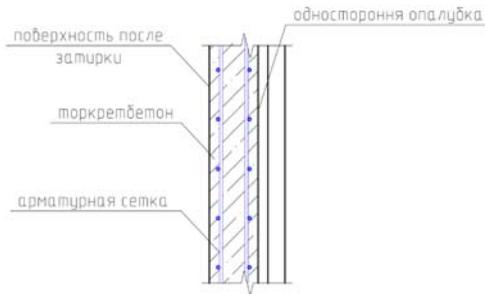


Рис. 6. Схема конструкции при нанесении торкретбетона на одностороннюю опалубку

Огнестойкость в бетоне и торкретбетоне. При повышении температуры выше 100°C жидкая капиллярная вода (свободная вода) и физически связанная вода внезапно превращается в пар и внутри создается высокое давление. Как только это давление превышает внутреннюю прочность матрицы на растяжение, бетон трескается и отслаивается. В результате торкретбетон во время пожара постоянно повреждается, и его структура может разрушиться. Решением может служить применение полипропиленовых микроволокн из-за их эксплуатационных свойств в случае пожара. При повышении температуры волокна плавятся, и возникающие пустоты позволяют сбросить давление пара.

1.5. Виды технологий торкретирования

1.5.1. Сухая технология торкретирования

Технология сухого торкретирования – процесс с доставкой (транспортировкой) сухой готовой смеси торкретбетона, состоящей из заполнителей, цемента и любых добавок для торкретбетона, но без воды затворения. Эта готовая смесь либо полностью сухая (сухая в печи), либо

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

смачивается только за счет влаги, присущей заполнителям. Для операции набрызгивания сухой торкретбетон смешивается в форсунке с водой и ускорителем торкретирования, а затем сразу же наносится (рисунок 7). Вместо ускорителей торкретирования в качестве альтернативы в процессе сухого напыления также можно использовать специальные быстротвердеющие цементы, которые схватываются через очень короткое время после смачивания водой. Для подачи сухого торкретбетона необходимо использовать тонкопоточный процесс. Сухой набрызгбетон был первым из разработанных и представляет собой процесс, который уже давно доказал свою эффективность, и постоянно развивается, и совершенствуется. Сухой торкретбетон используется, когда требуются меньшая производительность работ, а также когда важна высокая ранняя прочность, например, для предварительной герметизации от сильного проникновения воды с помощью торкретбетонных.

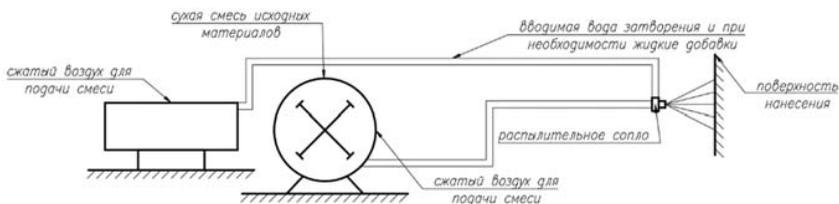


Рис. 7. Сухое торкретирование

Типичные области применения технологии сухого торкретирования и готовых торкретбетонных: ремонтные работы по бетону; предварительная герметизация поверхности от проникновения или утечки воды; работы по торкретированию небольших объемов; гидроизоляционные работы.

Преимущества сухого торкретбетона заключаются в его гибкости: высокая ранняя прочность для предварительного уплотнения или стабилизации поверхности; практически неограниченный срок хранения (доступность на месте) материалов, хранящихся в силосах; никакого остатка предварительно приготовленного бетона в виде отходов. Однако при использовании сухого торкретирования на экономику сильно влияют большие количества отскока и пылеобразования, а также более высокие затраты на износ оборудования.

Состав смеси сухого торкретбетона также зависит от конкретных требований. Однако, помимо первоначальных требований к прочности, для экономичного использования сухого торкретбетона необходима адаптация для минимизации образования пыли и количества отскока.

Именно на основе этих параметров выбираются тип и содержание цемента, тип и марка заполнителя, содержание воды (собственной влаги), а также тип и количество добавок для торкретбетона. Что касается совокупной классификации, агрегаты, доступные на местном уровне, снова являются основным фактором, определяющим выбор кривой классификации. Кривая, которая наилучшим образом соответствует указанным требованиям, должна быть установлена путем испытаний и испытаний имеющегося гранулированного материала. В сухом торкретбетоне часто используются готовые смеси, высушенные в печи, которые поставляются в мешках или хранятся в силосах на месте производства работ. Сухие торкрет-смеси на основе высушенных в печи материалов представляют собой узкоспециализированные продукты, предварительно приготовленные на заводе, в которых также могут использоваться специальные типы цемента, которые нельзя использовать для мокрого торкретирования, поскольку присутствие влаги может привести к засорению в пневматической системе сухой подачи или даже нарушить потенциальные эксплуатационные характеристики и эксплуатационные свойства продукта из-за предварительной гидратации цемента перед его использованием.

1.5.2 Мокрая технология торкретирования

Мокрый торкретбетон означает подачу товарной бетонной смеси, состоящей из заполнителей, цемента, воды и добавок для торкретбетона в работоспособной консистенции, которую можно перекачивать. В процессе распыления влажный бетон смешивается в форсунке с воздухом и жидким ускорителем торкретирования, после чего его можно наносить на поверхность (рисунок 8). Мокрый торкретбетон можно обрабатывать либо методом плотного, либо тонкозернистого потока. торкретбетон с плотным потоком является современным процессом, который применяется для высокопроизводительного торкретирования с применением специализированного оборудования.

Мокрый торкретбетон используется в процессе плотного течения, особенно когда необходимо обрабатывать большие количества торкретбетона. Он также предлагает максимальный контроль над всеми параметрами. Эта комбинация на сегодняшний день является наиболее популярной для механических туннельных работ, потому что хорошо работает при высокой производительности, условия работы в зоне распыления значительно лучше, чем при сухом распылении бетона и более высокая долговечность благодаря тщательно контролируемому содержанию воды. Преимущества мокрого торкретбетона проявляются во многих областях работ. При сравнении мокрого и сухого торкретирования эти преимущества обычно включают в себя:

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

повышенная номинальная производительность распыления до $30 \text{ м}^3/\text{ч}$; нижний отскок смеси; гораздо меньше образования пыли; снижение затрат на износ оборудования; низкая потребность в воздухе во время распыления; высокие эксплуатационные характеристики и долговечность уложенного торкретбетона.

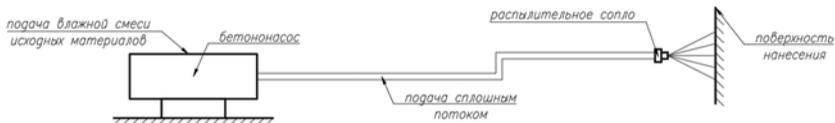


Рис 8. Мокрое торкретирование

Однако эти преимущества также накладывают ограничения: мокрый торкретбетон, используемый в процессе плотного течения, требует больше работы и подготовки, особенно на начальном этапе (для запуска) и в конечном итоге (для очистки). Кроме того, рабочее время, пока цемент не начнет схватываться, в некоторой степени предопределено из-за параметров дозирования, и в течение этого времени необходимо нанести торкретбетон. По истечении этого времени любую нераспыленную базовую смесь больше нельзя использовать.

Состав смеси мокрого торкретбетона зависит от заданных требований и желаемой удобоукладываемости, что означает, что необходимо учитывать следующее: совершенные целевые характеристики торкретирования (прочность на сжатие, поглощение энергии, долговечность); концепция логистики (способы доставки/обработки/температурный режим); указанные условия установленного материала (очень ранняя (0–2 часа) и ранняя (2–24 часа) прочность разработка); экономичность мокрой торкретбетонной смеси.

На основании этих аспектов выбираются и подтверждаются испытаниями или корректируются после пробной оценки целевых параметров тип и содержание цемента, тип и марка заполнителя, водоцементное соотношение, а также тип и количество добавок для торкретирования. Что касается размеров частиц заполнителя, то местные заполнители обычно являются основным фактором, определяющим лучший выбор кривой сортировки. Кривая, которая наилучшим образом соответствует указанным требованиям, должна быть определена путем тестирования и испытаний с фактически доступными материалами. Что касается разработки состава смеси для влажного торкретирования, используемого в процессе плотного бетона, наиболее сложной задачей, вероятно, является достижение хорошей прокачиваемости базовой смеси.

Сравнение технологий торкретирования представлена в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение технологий торкретирования

«Мокрое» торкретирование	«Сухое» торкретирование
1	2
Пониженное пылеобразование	Не требуется предварительное затворение водой
Однородный состав бетона	Возможность подачи материала на большие расстояния
Возможность окончательной затирки	Возможность нанесения «толстого» слоя за один подход
Возможность работы в стесненных условиях	Высокая производительность
Минимальный отскок	Не требуется грунтовка основания «клеящим» составом
Минимальные затраты на защиту рабочей площадки	Высокая надежность и длительный срок эксплуатации оборудования
Возможность использования торкрет машины как бетононасоса	Простая очистка оборудования (продувка воздухом)
Приготовленный для торкретирования бетон может применяться для ручного нанесения	Редкое засорение шлангов и оборудования
	Возможность работы в режиме «старт-стоп»

Рассмотренные особенности технологии торкретирования могут служить эффективным инструментом для расширения области использования торкретбетона в строительной практике России.

2. Кластеризация технологии торкретирования как системный подход в строительстве, реконструкции зданий и сооружений

Торкретирование является прогрессивной и инновационной технологией для проектирования и строительства новых зданий и сооружений, а также реконструкции, и может рассматриваться с позиций единого комплексного подхода как *кластер с многоуровневыми возможностями*.

Согласно исследованиям автора, многоуровневый кластер технологии торкретирования включает в себя 4 кластера: сырьевой, технологический, конструктивный и расчетный.

Данный подход к технологии торкретирования позволит показать объем ее возможностей и вывести торкретбетон как конструкционный материал на новый уровень развития для строительной отрасли.

Кластеризация технологии торкретирования дает возможность осуществить многоуровневую статистическую процедуру, содержащую базы данных о технологических, конструктивных, расчетных и сырьевых параметрах, и затем упорядочить их в сравнительно однородные группы (кластеры).

Строительная отрасль включает в себя архитектуру, строительство, реконструкцию и большую сферу отделочных материалов.

Применительно для архитектурного проектирования ключевыми будут конструкционный и технологический кластеры. Для отрасли нового строительства сырьевой, технологический, конструктивный и расчетный. В области реконструкции ключевыми кластерами будут являться технологический, сырьевой и расчетный, а для области отделки материалов – сырьевой и технологический.

Уникальность технологии торкретирования позволяет создавать различные покрытия криволинейной формы. Поэтому основными параметрами конструктивного кластера будут размеры здания с основными элементами несущего остова.

Автором в рамках руководства ВКР были предложены ряд концепт-проектов (см. раздел 3). Они включали в себя разработку композиционного пространства – перспективы, объемно-планировочного и конструктивного решений, а также разработку технологической карты на возведения покрытий торкретжелезобетонных оболочек.

Учитывая особенности кластеризации технологии торкретирования, автором предложен алгоритм определения эффективности применения торкретбетона в криволинейных покрытиях.

Из анализа концепт-проектов центроидом конструктивного кластера технологии торкретирования является купольное покрытие в виде трёхслойной оболочки. Поэтому, например, для составления матрицы расстояний можно выделить толщину несущих слоев торкретбетона (δ , мм), высоту элемента (h , м), диаметр покрытия (d , м). Общий алгоритм применения торкретбетона с точки зрения кластерного анализа представлен на рисунке 8.

Обязательным условием является нахождение коэффициентов кластеризации в области мерного пространства $0 \leq S_{\text{торкрет}} \leq 1$.

Таким образом, полученный алгоритм позволяет максимально выявить эффективность применения технологий торкретирования с учётом всех необходимых параметров, характеризующих данную технологию.

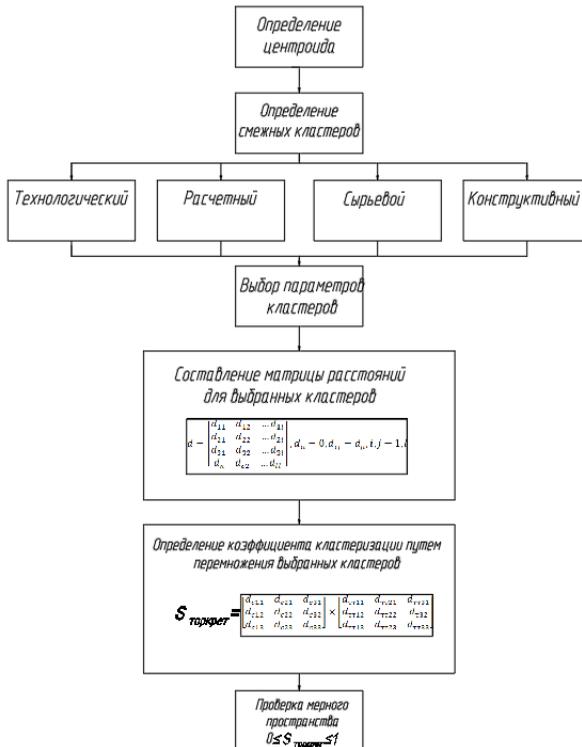


Рис. 9. Общий алгоритм эффективности применения технологии торкретирования с точки зрения кластерного анализа

3. Применение торкрет-железобетона при разработке зданий криволинейного очертания

3.1. Концепт-проект Выставочного центра в Сочи

В рамках дипломного проектирования автором в качестве руководителя ВКР со студентами были разработаны проектные предложения по торкретбетону для разработки архитектурно-композиционных, объемно-планировочных, конструктивных и технологических решений зданий.

Одним из объектов был проект концепт-проект Выставочного центра в г. Сочи (рисунок 9). Основным назначением такого здания было проведение специализированных выставок различного профиля. В объемно-планировочном решении у входа в каждый выставочный зал и на фудкортах предусмотрены универсальные мультимедийные терминалы, помогающие посетителям легче ориентироваться в павильонах выставок. Помещения выставочного центра разделены на 3 типа: рабочие основного назначения, вспомогательные, обслуживающие.

Учитывая характер местности, облик здания решен в формах архитектурной бионики, близких к восприятию современного человека, лишен монотонности, приближен к масштабу человека. Так как выставочный центр расположен в г. Сочи, то в основном, предназначен для экспозиций достижений российских спортсменов.

Функционально здание делится на пять зон: демонстрационная зона, зона кафе, торговая зона, зона отдыха и зона санитарно-бытовых и административных помещений (рисунок 10). Функциональная схема первого этажа представлена на рисунке 11.



Покрытие здания запроектировано из полимерторкретжелезобетона, армированного сетками.

В качестве утеплителя и опалубки принят пенополистирол.

План первого этажа и разрез представлены на рисунке 13.

Рис. 10. Перспектива и генплан концепт-проекта Выставочного центра

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

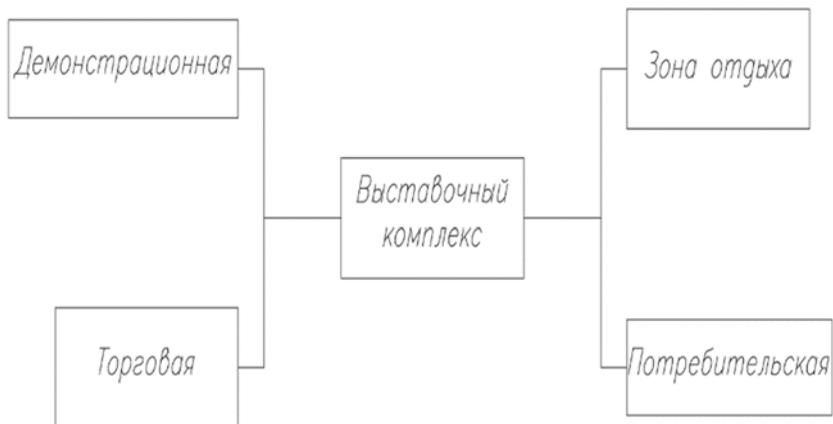


Рис.11. Структурная организация выставочного комплекса.

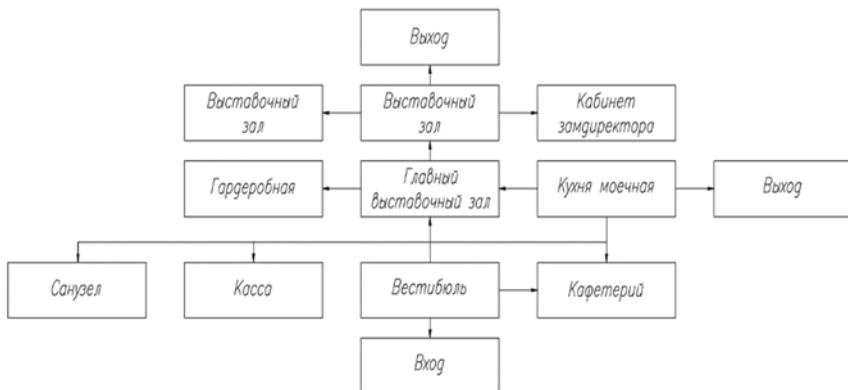


Рис.12. Функциональная схема 1 этажа

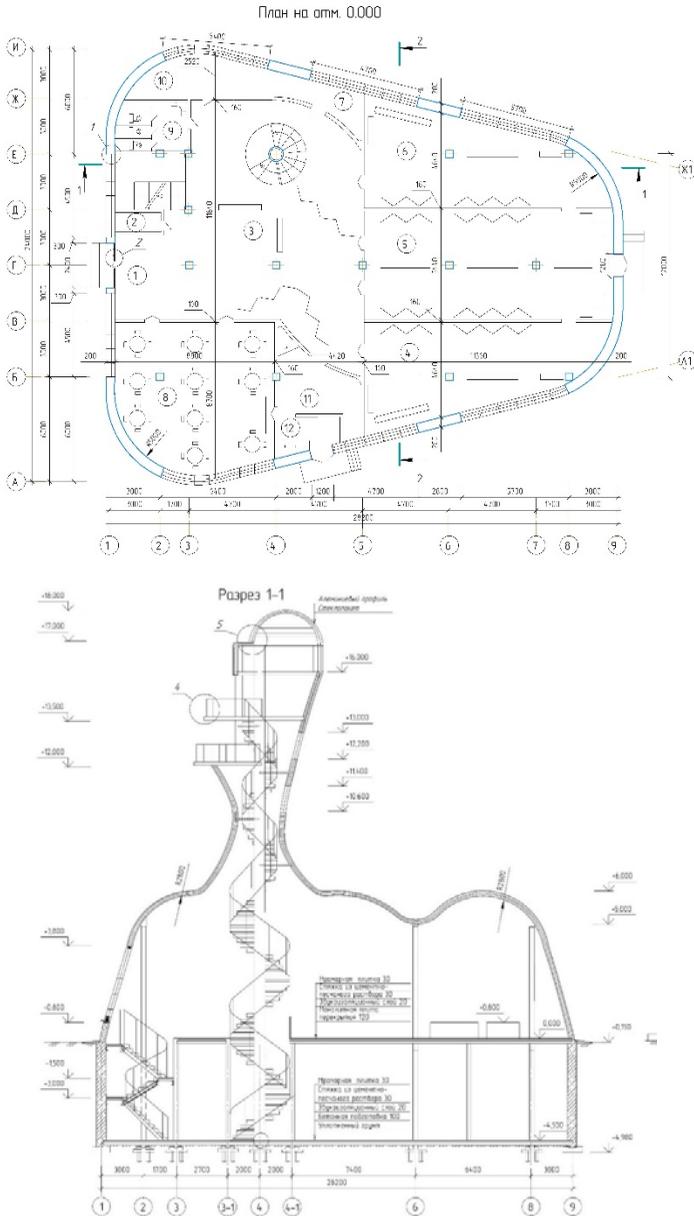


Рис. 13. План и разрез концепт-проекта Выставочного центра

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

В рамках расчетно-конструктивного раздела была запроектирована конструкция монолитной полимерторкретжелезобетонной оболочки, которая относится к оболочкам положительной двоякой гауссовой кривизны, так как стрела ее подъема принимается в пределах $f_b < 0,1a$; $f_b < 0,1b$.

Выставочный центр имеет сложную форму многоволновой оболочки (рисунок 13), состоящую из нескольких гиперболоидов в плане. Опирание покрытия осуществляется по контуру на монолитный ленточный фундамент и местах отрицательной кривизны на колонны, образующие пространственный каркас совместно с перекрытием. Армирование многоволновой оболочки производят из сеток арматуры класса А400 с $R_s = 365 \text{ кПа}$, для полимерторкретбетона классом В25. Арматурные сетки соединены между собой дискретными связями через слой утеплителя, для обеспечения совместной работы внешнего и внутреннего слоя из полимерторкретжелезобетона.

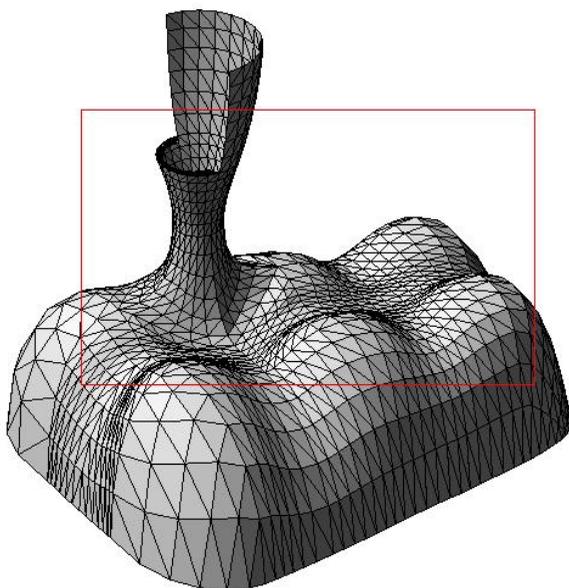


Рис. 14. Схема многоволновой оболочки

Для расчета оболочки был произведен сбор постоянных и временных нагрузок с учетом нормативных документов.

После сбора нагрузок был выполнен расчет данного покрытия в компьютерной программе «Лира» (рис.15). В результате были получены изополя напряжений от временных и постоянных нагрузок.

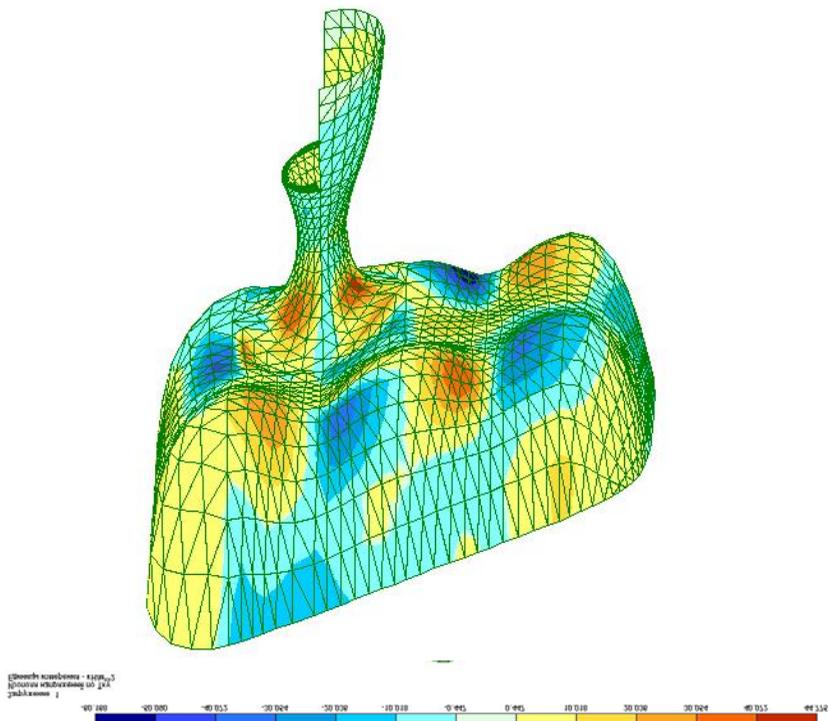


Рис. 15. Значения усилий N_x по высоте покрытия

В результате расчета получено, что обтекаемая форма оболочки эффективно воспринимает постоянные и временные нагрузки. Рабочая арматура сеток, установленных в два ряда $2\text{Ø}14\text{ A}400$.

Армирование оболочки представлено на рис.16.

Для данного объемно-планировочного и конструктивного решения была разработана техкарта на устройство многоволновой оболочки из торкретжелезобетона.

Для работ по торкретированию была выбрана установка для набрызга бетонной смеси по технологии мокрого торкретирования СБ-67Б-1.

Возведения покрытия из торкретных оболочек начинается с установки на заданных отметках, поддерживающих арматурный каркас конструкций. По осям ребер арматурного каркаса оболочек устраивается плитный утеплитель из пенополистирола, служащий опалубкой для торкретирования. Арматурный каркас соединяется между собой дискретными связями через утеплитель. На утеплитель между оболочками раскатываются нижние тканые частые сетки из проволоки. Поверху сеток устанавливаются каркасы, верхняя и нижняя продольная арматура лотков оболочек. Затем раскладывается сварная сетка из проволоки и по ней верхняя тканая сетка. Пакет сеток скрепляется вязальной проволокой. Все сетки укладываются с перепусками в стыках и закрепляются на ребрах каркаса оболочки так, чтобы образовалось висячая система, способная выдержать вес свежеложенного бетона. После выполнения необходимых арматурных работ производится набрызг полимербетонной смеси на сетки, подвешенные к конструкции оболочки. Работы ведутся способом мокрого торкретирования. Заглаживание верхней поверхности бетона следует производить правилом, направленным вдоль образующей оболочки. На верхней поверхности допускаются местные неровности не более 5 мм. На нижней поверхности оболочки может быть оставлена шероховатость с декоративной правкой. Толщину бетона поля оболочки следует контролировать по бетонным или пластмассовым маякам толщиной равной толщине оболочки, закрепленным к арматурной сетке.

Технологическая карта представлена на рисунке 17.

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

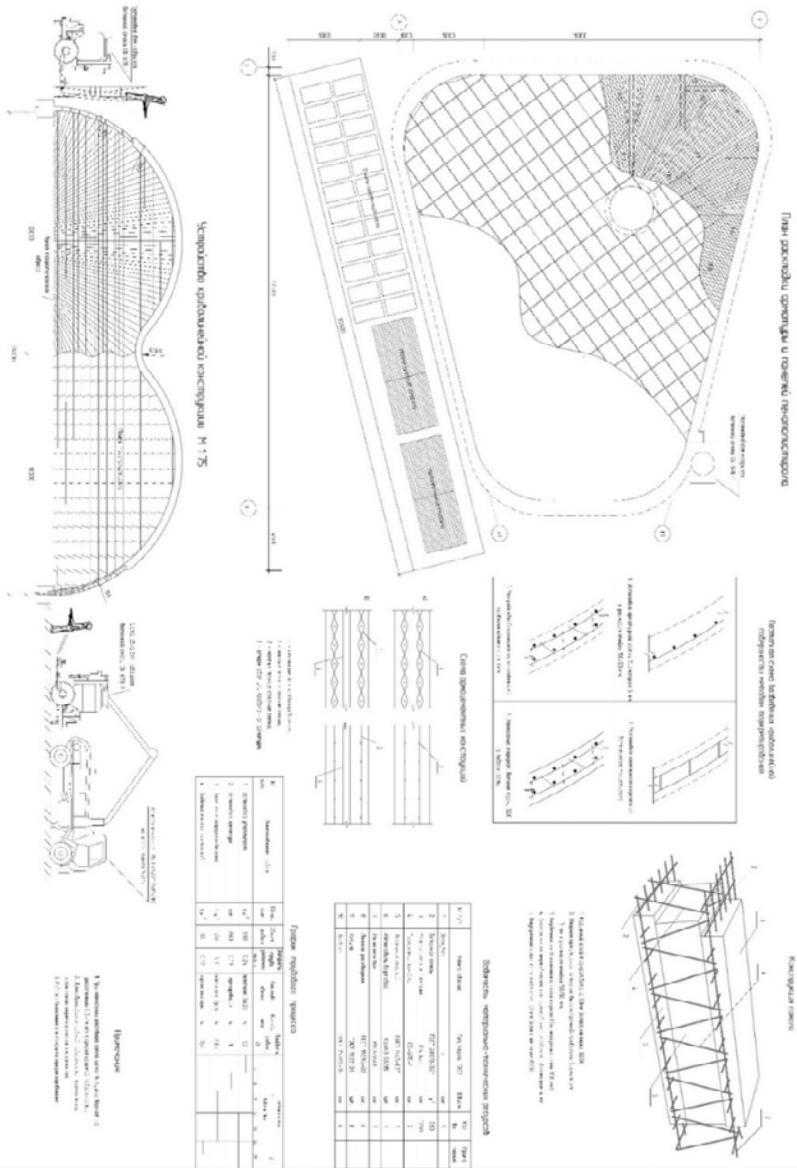


Рис. 17. Технологическая карта на возведения
многоволновой оболочки из торкретжелезобетона
по технологии мокрого торкретирования

3.2. Концепт-проект культурно-оздоровительного комплекса «Скорпион» в г. Хвалынский

Другим концепт-проектом стало здание курортно-оздоровительного комплекса «Скорпион» (рисунок 18). Выбранная форма здания по принципам архитектурной бионики была не случайной, так как скорпион символизирует внутреннюю силу, которая скрыта внутри нас. Согласно духовности, образ скорпиона говорит, чтобы получить то, что мы хотим, необходимо иногда сделать шаг в неизвестность. И это связано с укреплением прежде всего внутреннего здоровья. А обтекаемая форма зданий в составе комплекса позволяет положительно настроиться именно на процесс выздоровления. Диплом был выполнен в комплектном варианте, где один студент проектировал головную часть скорпиона, другой – хвостовую.



Рис. 18. Концепт-проект культурно-оздоровительного комплекса «Скорпион»

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

В общем комплекс состоит из четырнадцати купольных зданий с разными диаметрами и высотой. Между собой данные купола соединены светопрозрачными коридорами, длина которых не превышает 15 метров. В первом дипломе композиция представлена 1 главным двухэтажным зданием с купольным покрытием диаметром 36 м, в состав которого входят административно-профилактические помещения. На первом этаже этого купола расположены административные и обслуживающие помещения, а также кафе, магазины, камеры хранения и т.д. 2-ой этаж представляет собой оздоровительное помещение, в котором 3 зоны (1-я массажная зона, 2-я косметическая зона и 3-я зона – тренажерная и процедурная). Клешня скорпиона представлена 3 куполами, два из которых являются двухэтажными семейными жилыми диаметром 12 метров и одна баня. Шесть одноэтажных куполов для молодежи разделенные по номерам их диаметр составляет 10 метров, 1 купол для обследующего персонала диаметр 12 метров.

Высота здания 8,30 м. Отметка пола первого этажа 0,000 м, отметка пола второго этажа +3,180 м. Высота этажа 3,30 м. На отметке +8,30 м в осях покрытием служит монолитный железобетонный купол диаметром 36 м.

В общем плане комплекс представлен в виде созвездия «Скорпиона», что в древней мифологии означает перерождение.

Центральный вход в административное здание расположен в осях 12-13. План и разрезы представлены на рисунке 19.

Административное здание курортно-оздоровительного комплекса «Скорпион» включает в себя помещение основного назначения – павильоны товаров, кафе, а также помещения, играющие второстепенную роль – помещения обслуживающего персонала, технические помещения и складские помещения.

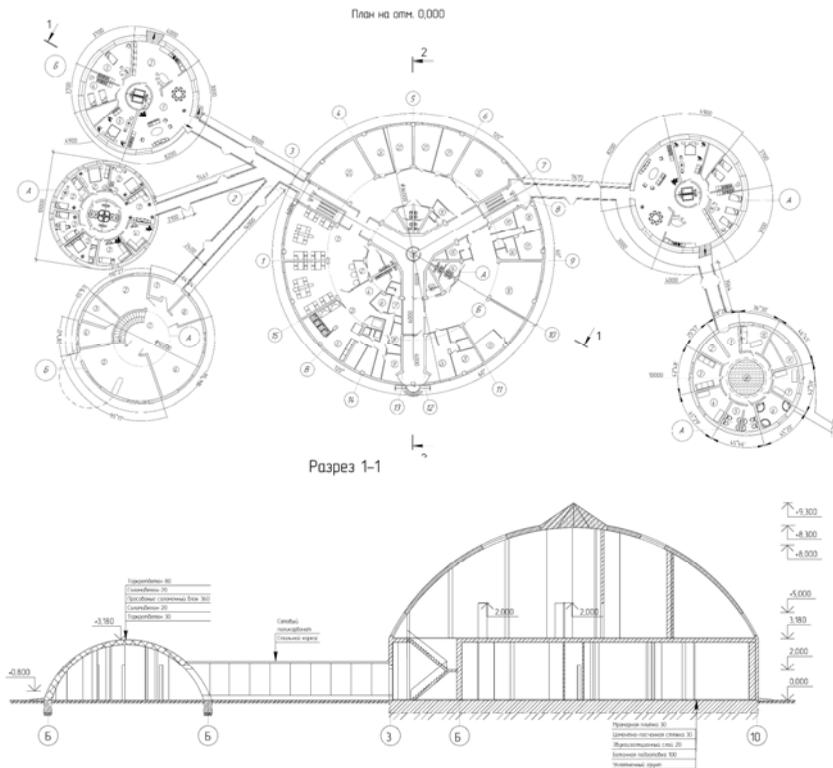


Рис. 19. План и разрез культурно-оздоровительного комплекса «Скорпион»

Для правильной группировки помещений и их взаимосвязи, целесообразной организации функциональных процессов разработана функциональная схема.

Вся территория административного купола разделена на следующие зоны: торговую, включающую в себя залы и павильоны, предназначенные для продажи товаров; зону питания, в которой расположены кафе, кухня, склады продуктов и тары, моечная; и административную, включающую административно бытовые помещения персонала.

Сообщения между помещениями осуществляется через коридоры. Сообщение между этажами – через лестницы.

Другие пять зданий предназначены для проживания постояльцев.

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

В рамках расчетно-конструктивного раздела был выбран монолитный торкретжелезобетонный купол диаметром 36м. Опорное кольцо купола принято монолитное из тяжелого мелкозернистого бетона класса В25.

Расчет тонкостенных торкретжелезобетонных куполов ведут по безмоментной теории, условиями применения которой являются: плавность изменения приведенной толщины оболочки, постоянство радиуса кривизны ее меридиана, плавность изменения нагрузки, свободное перемещение краев купола в радиальном и кольцевом направлениях. При этих условиях напряженное состояние торкретжелезобетонного купола от осесимметричной сплошной равномерно распределенной нагрузки характеризуется появлением только нормальных сил, действующих в меридиональном направлении F_1 и кольцевом направлении F_2 (рис. 20).

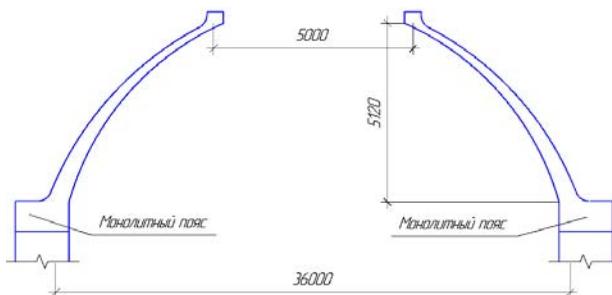


Рис. 20. Геометрическая схема купола

В купольном покрытии предусмотрено нижнее и верхнее опорное кольцо. Опираие покрытия осуществляется на монолитное нижнее опорное кольцо, криволинейное тело купола имело дополнительные опоры на колонны пространственного монолитного каркаса здания. Покрытие монтировали из сборных сеток арматуры класса А400 с $R_s=365\text{кПа}$, торкретбетон класса В25. Арматурные сетки соединены между собой дискретными связями, для обеспечения совместной работы внешнего и внутреннего слоя из торкрет-бетона.

Расчет торкретжелезобетонного купола производился от действия постоянных и временных нагрузок (рисунок 21)

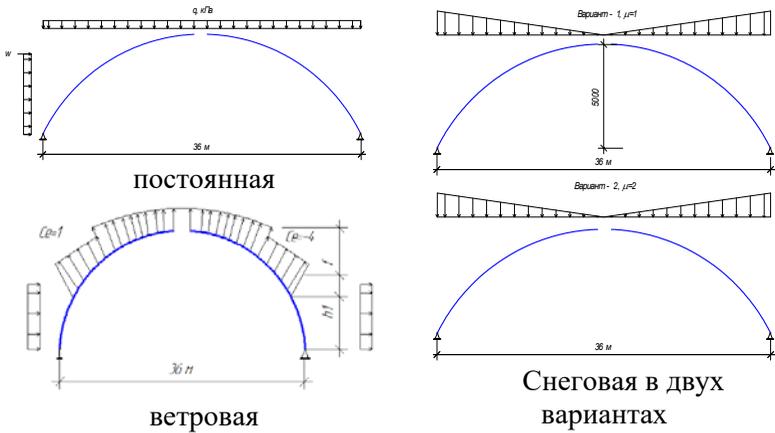


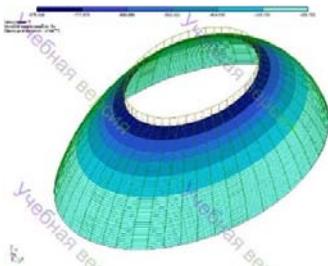
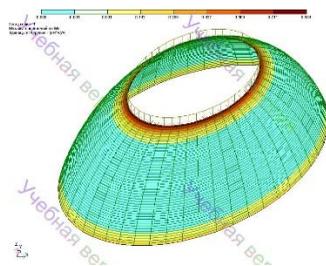
Рис. 21. Виды нагрузок на торкретжелезобетонный купол

После сбора нагрузок был выполнен расчет данного купола в компьютерной программе «Ли́ра». В результате были получены усилия, возникающие от вышеуказанных нагрузок (рисунок 22–25).

Армируем каркас стержнями из стали А-400 с расчетным сопротивлением 365кПа. Принимаем класс бетона В25.

Необходимая площадь сечения арматуры для полосы шириной 1 м п.:

$$A_s = \frac{1124}{365} = 3,076 \text{ см}^2$$

Рис. 22. Мозаика напряжений по N_y Рис. 23. Мозаика напряжений по M_x

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

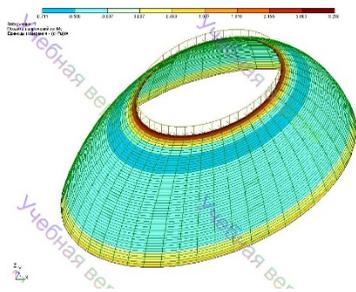


Рис. 24. Мозаика напряжений по M_y

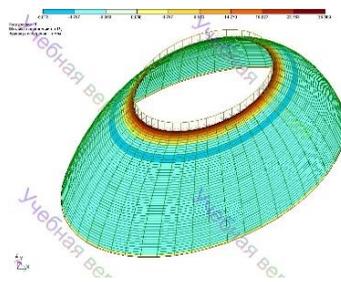


Рис. 25. Мозаика напряжений по Q_y

Принимаем $2\emptyset 14 A400$, $A_s=3,08 \text{ см}^2$. Устанавливаем стержни в два ряда. Таким образом, арматура может воспринять усилие:

$$3,08 \cdot 365 = 1125 > 1124 \text{ кПа}$$

Армирование купола представлено на рис. 26.

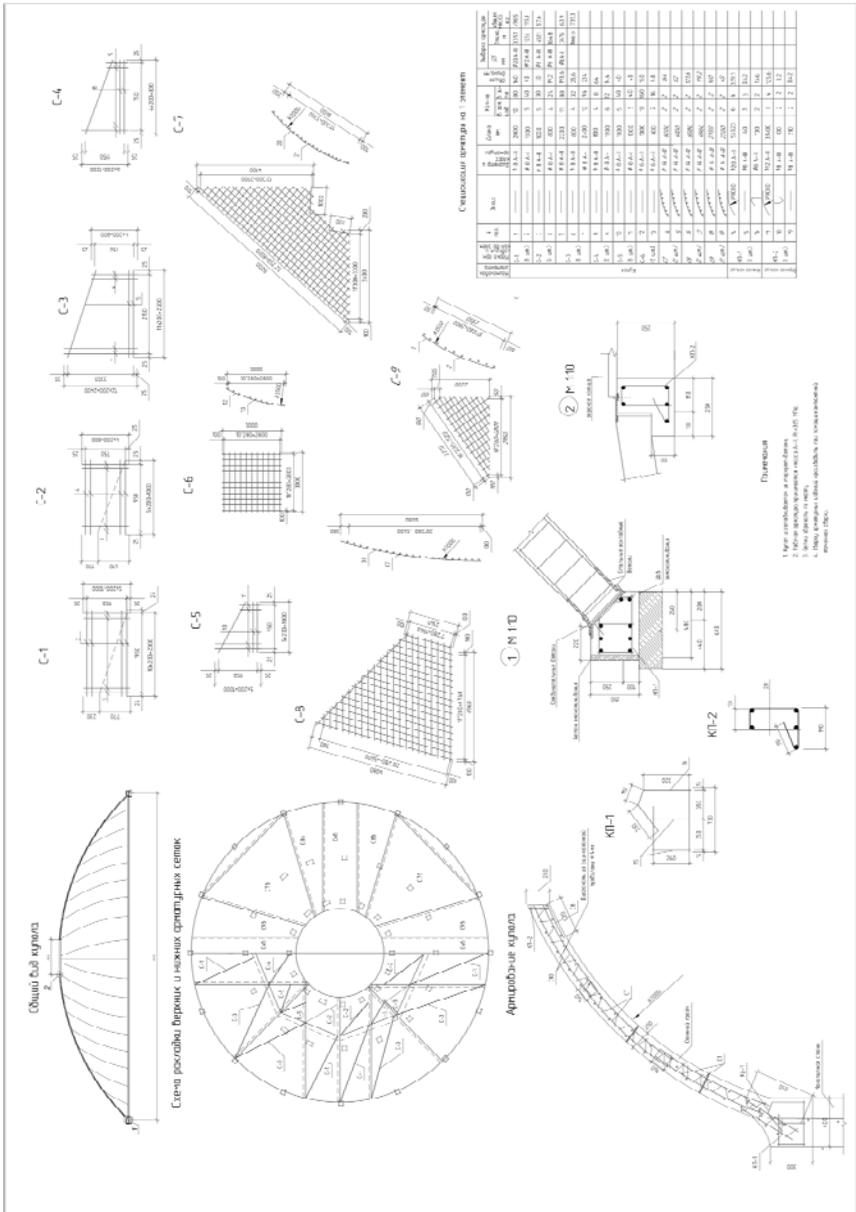


Рис. 26. Армирование торкретжелезобетонного купола

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

Технологическая карта была разработана на возведение одноэтажного купола по технологии мокрого торкретирования. Отличительной особенностью стенки купола являлась многослойная конструкция стены с органическим утеплителем из соломы (рисунок 27).

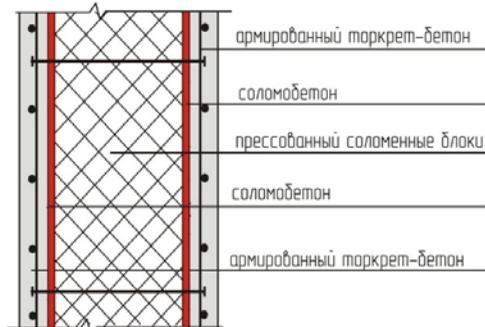


Рис. 27 – Конструкция многослойной
стены

Возведение купола по технологии мокрого торкретирования с установкой по контуру опорного кольца гидроизоляции. По осям ребер арматурного каркаса, скрепленного с выпусками арматуры из фундамента, устраивается органический утеплитель, служащий опалубкой для бетонирования.

Утеплитель устанавливается в шахматном порядке и скрепляется между собой стеклопластиковыми сердечниками. Арматурный каркас соединяется между собой дискретными связями через утеплитель. На утеплитель между оболочками раскатываются нижние тканые части сетки из проволоки. Поверху сеток устанавливаются каркасы, верхняя и нижняя продольная арматура лотков купола. Все сетки укладываются с перепусками в стыках и закрепляются на ребрах каркаса оболочки так, чтобы образовалось висячая система, способная выдержать вес свежесуложенного бетона. После выполнения необходимых арматурных работ производится набрызг торкретбетонной смеси на сетки, закрепленные на конструкции купола. Работы ведутся способом мокрого торкретирования. Толщина несущего слоя – 5–10 см. Технологическая карта представлена на рисунке 29.

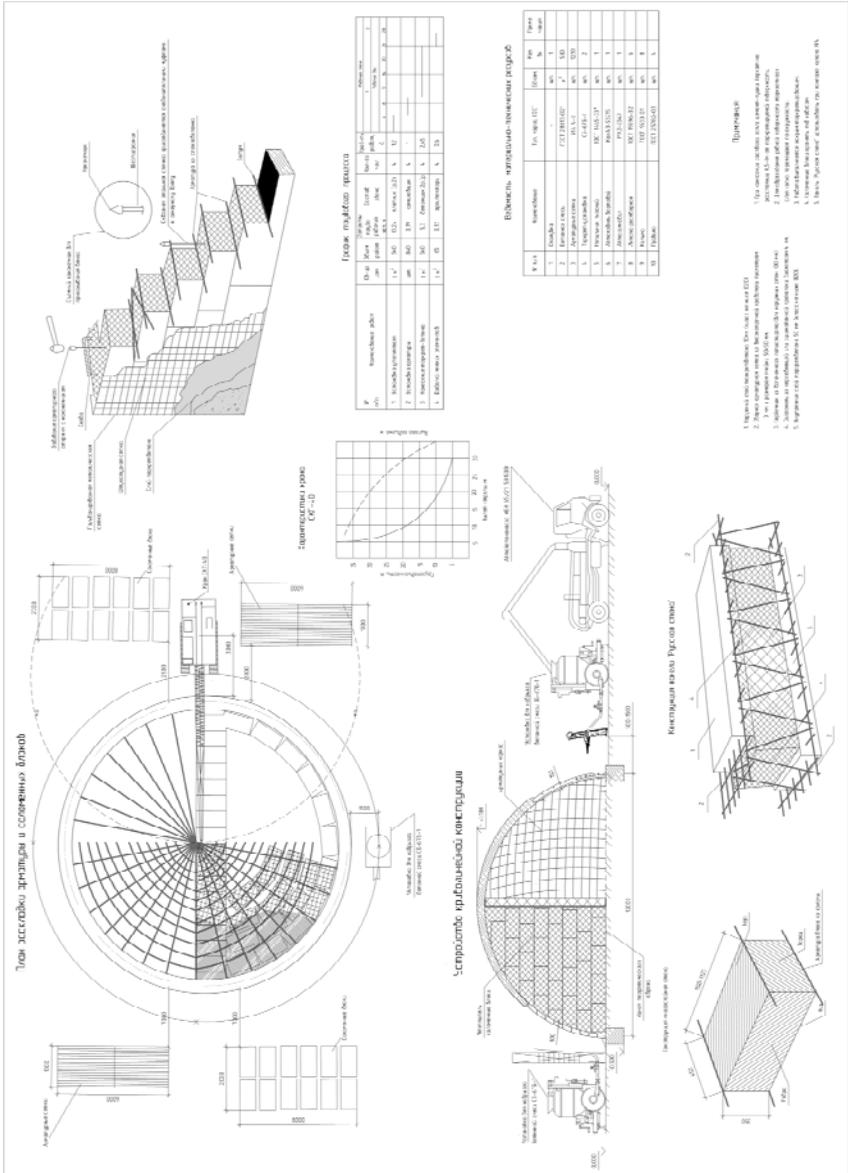


Рис. 29. Технологическая карта на торкретирование купола с утеплителем из органического материала

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

Во второй части дипломного проекта было рассмотрено здание, в функциональные назначения которого входили следующие строения: административное здание, гостиницы, бассейн и ресторан.

На первом этаже бассейна были запроектированы следующие зоны: административная, развлекательная, техническая и зона общественного питания. Подробная схема приведена на рисунке 30.

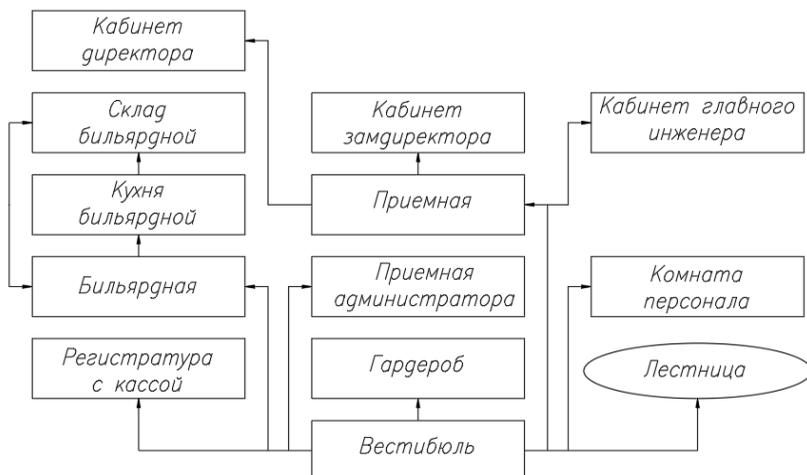


Рис. 30. Функциональная схема первого этажа бассейна

На втором этаже находится сам зал бассейна, раздевалки и душевые, общественные бани и оздоровительная зона, а также комната дежурной медсестры, комната спасателей и комната тренеров, находящиеся смежно с залом бассейна (рисунок 31).

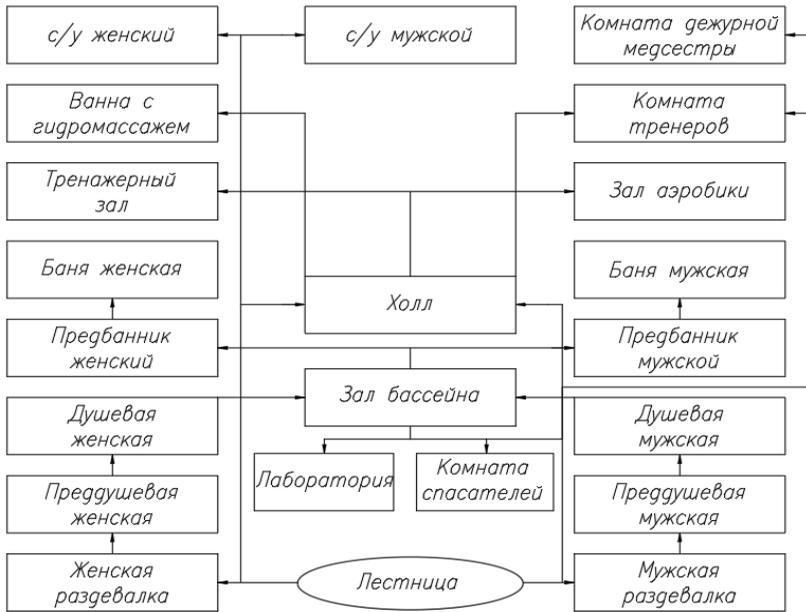


Рис. 31. Функциональная схема второго этажа бассейна

В здании ресторана находятся следующие помещения: вестибюль, гардероб, кухня, сам зал ресторана, тамбур перед комнатой курения, комната курения, банкетный зал и лестница, ведущая в чилл-аут зону (рисунок 32).



Рис. 32 Функциональная схема первого этажа ресторана

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

План и разрез здания ресторана представлена на рисунке 33.

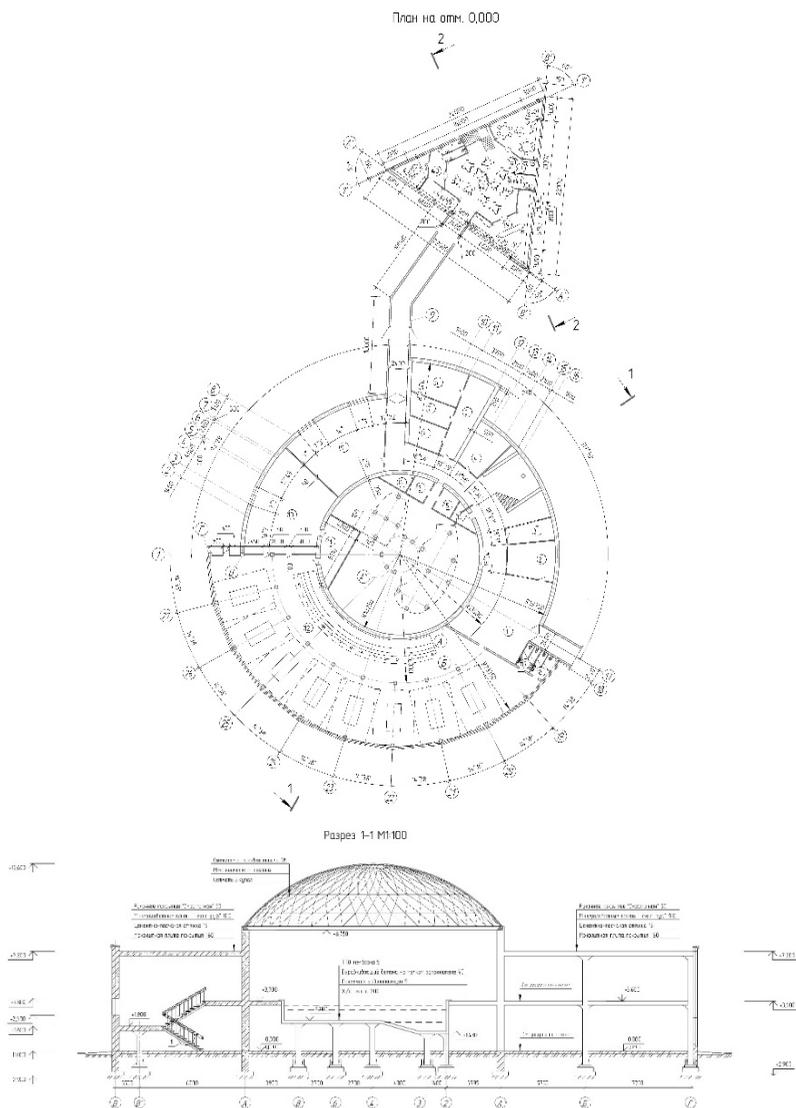


Рис. 33. План и разрез «хвоста» здания культурно-оздоровительного комплекса «Скорпион»

В рамках раздела технологии и организации строительства была разработана технологическая карта на возведение вертикальной конструкции стены двухэтажного здания ресторана с купольным покрытием. Карта разработана на устройство стены по технологии «русской стен» методом мокрого торкретирования.

Монтаж стен здания начинается с установки панелей на монолитный ленточный фундамент. В соответствии с чертежами проекта, размечается положение арматурных стержней. Арматурные стержни служат для простоты монтажа стеновых панелей и не воспринимают горизонтальных нагрузок. В проектное положение панели устанавливаются по направляющим арматурным стержням и далее выверяются по вертикальному уровню.

Монтаж стен осуществляется с углов здания. Панели из пенополистирола крепятся к арматурным стержням мягкой проволокой. Для того, чтобы добиться надлежащей жесткости соединения панелей, необходимо установить дополнительные арматурные сетки, которые при помощи пневмопистолета скрепляются с сеткой панели металлическими скобами.

После завершения первого этапа строительства - установки панельного каркаса с прокладкой инженерных коммуникаций - начинается торкретирование с помощью пневмоковша.

Перед началом торкретирования прокладываются все предусмотренные проектом коммуникации. Распорки убираются после того, как затвердеет первый слой торкретбетона через 2–3 дня.

Технологическая карта представлена на рисунке 34.

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

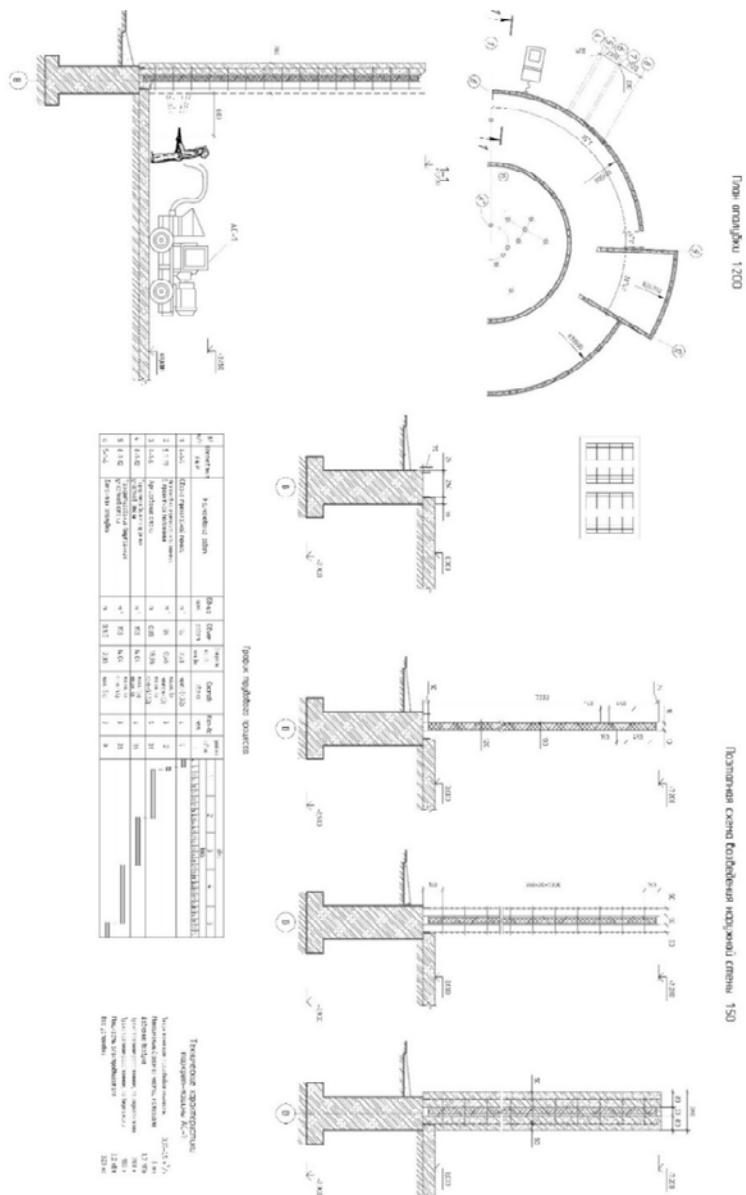


Рис. 34. Технологическая карта на возведение вертикальной стены технологией мокрого торкретирования

Таким образом, технологии торкретирования позволяют создавать уникальные объемно-планировочные решения и формы здания, при сокращении работ за счет технологичности торкретирования, а сложные геометрические формы возможно рассчитать, применяя современные программные комплексы. Разработанные технологические карты позволяют оценить сложность технологического процесса и поэтапно выстроить его в соответствии с особенностями технологии.

4. Практический опыт применения технологии мокрого торкретирования при реконструкции зданий и сооружений

4.1. Реконструкция инженерных сооружений по технологии торкретирования

Автору поступило предложение по разработке проекта для ремонта стальных резервуаров. Заказчиком выступило предприятие нефтебазы в г. Балашове, где в состав очистных сооружений для отстоя промливневых стоков использован стальной цилиндрический резервуар типа РВС-400, изготовленный и смонтированный методом рулонирования, было предложено рассмотреть 2 проекта реконструкции.

Было рассмотрено 2 варианта проекта. 1 вариант – усиление конструкции за счет использования монолитного бетона, 2 – усиление конструкции с помощью торкретбетона.

1 вариант. Резервуар заглублен в грунт на глубину 6 м. Для усиления стенки резервуара были смонтированы внутренние стойки и наружные шпангоуты из швеллера № 10 и пять шпангоутов с шагом, считая от днища, 2,25 м; 1,5 м; 1,5 м; 1,5 м; 0,75 м.

Для технологических нужд внутри резервуара установлена стальная перегородка из листовой стали толщиной 4 мм и высотой 7,46 м. Разделительная стенка укреплена стальным каркасом из швеллера №10. Каркас состоит из семи стоек с шагом 1,42 м и четырех поперечин с шагом 1,5 м. (рисунок 35).

Конструкция резервуара РВС-400

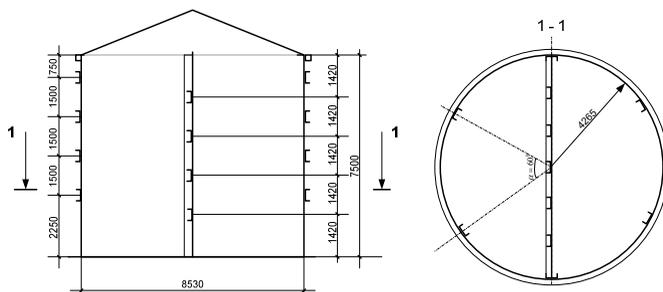


Рис. 35. Конструкция резервуара РВС-400

Для возможности засыпки резервуара, необходимо провести усиление его стенки и днища. По данным Заказчика максимальный

уровень продукта в резервуаре составляет 5,63 м, поэтому требуемый объем заполнения резервуара составляет 320 м³, что меньше номинального объема РВС-400 на 80 м³.

В этом случае усиление резервуара рационально выполнить устройством внутренней монолитной железобетонной рубашки – внутреннего монолитного железобетонного резервуара. Так как практически проблематично осуществить совместность работы стенки и днища стального цилиндрического резервуара с железобетонными элементами усиления (внутренним железобетонным резервуаром), то для определения усилий в элементах усиления будем рассматривать отдельно стоящий железобетонный резервуар на следующие виды загрузки.

Был произведен расчет монолитного железобетонного резервуара аналитическим методом.

Проведем расчет отдельно стоящего железобетонного резервуара со следующими параметрами:

Вариант № 1.

1. Высота корпуса резервуара $H = 6$ м.
2. Наружный диаметр корпуса $D = 8.53$ м.
3. Толщина стенки $t_{ст} = 200$ мм.
4. Толщина днища $t_{дн} = 150$ мм.
5. Высота налива нефтепродукта $h = 5.63$ м.
6. Класс бетона **B20**, $R_b = 115$ МПа.
7. Класс арматуры **A-300**, $R_s = 280$ МПа.
8. Сопряжение стенки с днищем – жесткое.
9. Резервуар – открытый.

Расчет и конструирование стенки железобетонного резервуара

При расчете стенки резервуара примем два вида загрузки.

1-ый случай – резервуар заполнен продуктом, обсыпка отсутствует (гидравлические испытания);

2-ой случай – сооружение обсыпано грунтом, резервуар пуст (эксплуатационные условия).

Расчетные схемы резервуара

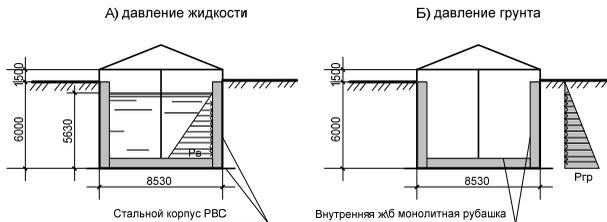


Рис. 37. Расчетные схемы резервуара

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

1-ый случай. Определение усилий в стенке будем проводить в трех сечениях, расположенных на расстоянии h_i от верха стенки:

$$h_1 = 1,8 \text{ м}; h_2 = 3,83 \text{ м}; h_3 = 5,0 \text{ м}$$

Кольцевые растягивающие усилия в стенке определяются по следующей зависимости:

$$S_i = \gamma_b R h_i - \gamma_b R H [\eta_{1i} + \eta_{2i} (1 - 1/mH)] \quad (1)$$

где $\gamma_b = 10 \text{ кН/м}^3$ – плотность воды,

$R = 4,265 \text{ м}$ – радиус стенки,

$H = 5,63 \text{ м}$ – высота взлива продукта,

η_{1i} и η_{2i} – коэффициенты, принимаемые в зависимости от текущей координаты $\varphi = y_i \text{ м}$, где

$$y_i = H - h_i; m = 1,3(R \cdot t_{ct})^{1/2} = 1,3(4,256 \cdot 0,2)^{1/2} = 1,2 \text{ м}$$

Изгибающие моменты в сечениях стенки вычисляются по формуле:

$$M_i = (\gamma_b h_i / (2m^2)) \cdot [\eta_{1i}(1 - 1/mH) - \eta_{2i}] \quad (2)$$

Максимальный изгибающий момент равен:

$$M_{\max} = (\gamma_b H) / (2m^2) (1 - 1/mH) \quad (3)$$

1-ое сечение: при $h_1 = 1,8 \text{ м}$, $\varphi = 1,2 \cdot (5,63 - 1,8) = 4,6$.

$$\eta_{11} = -0,024, \eta_{21} = -0,011,$$

$$S_1 = 10 \cdot 4,265 \cdot 1,8 - 10 \cdot 4,265 \cdot 5,63 \cdot [-0,024 - 0,011 \cdot (1 - 1/1,2 \cdot 6)] = 74 \text{ кН/м.}$$

$$M = (10 \cdot 1,8) / (2 \cdot 1,2^2) [-0,024(1 - 1/1,2 \cdot 6) - (-0,011)] = -0,06 \text{ кНм/м.}$$

2-ое сечение: при $h_2 = 3,83 \text{ м}$, $\varphi = 1,2 \cdot (5,63 - 3,83) = 2,16$.

$$\eta_{12} = -0,0652, \eta_{22} = +0,0896,$$

$$S_1 = 10 \cdot 4,265 \cdot 3,83 - 10 \cdot 4,265 \cdot 5,63 \cdot [-0,0652 + 0,0896 \cdot (1 - 1/1,2 \cdot 6)] = 160 \text{ кН/м.}$$

$$M = (10 \cdot 3,83) / (2 \cdot 1,2^2) [-0,0652(1 - 1/1,2 \cdot 6) - 0,0896] = -1,93 \text{ кНм/м.}$$

3-е сечение: при $h_3 = 5,0 \text{ м}$, $\varphi = 1,2 \cdot (5,63 - 5) = 0,63$.

$$\eta_{13} = +0,453, \eta_{23} = +0,3099,$$

$$S_1 = 10 \cdot 4,265 \cdot 5,0 - 10 \cdot 4,265 \cdot 5,63 \cdot [0,453 + 0,3099 \cdot (1-1/1,2 \cdot 6)] = 54,2 \text{ кН/м.}$$

$$M = (10 \cdot 5)/(2 \cdot 1,2^2) [0,453(1-1/1,2 \cdot 6) - 0,3099] = -4,56 \text{ кНм/м.}$$

$$M_{\max} = (10 \cdot 5,63)/(2 \cdot 1,2^2)(1-1/1,2 \cdot 6) = 16,7 \text{ кНм/м.}$$

2-ой случай. Максимальный изгибающий момент в стенке резервуара при действии обсыпки грунта равен

$$M_{\max} = (\gamma_{\text{гр}} H)/(2m^2)(1-1/mH) \quad (4)$$

где $\gamma_{\text{гр}} = 17,6 \text{ кН/м}^3$ – удельный вес грунта.

$$M_{\max} = (17,6 \cdot 6)/(2 \cdot 1,2^2)(1-1/1,2 \cdot 6) = 7,14 \text{ кНм/м.}$$

Подбор арматуры в стенке резервуара проводим по максимальным усилиям.

Площадь кольцевой арматуры определяется по формуле

$$A_{s1}^k = 1,1 S_i h_i / R_s \quad (5)$$

1-ое сечение: при $h_1 = 1,8 \text{ м}$,

$$A_{s1} = 1,1 \cdot 74 \cdot 1,8 \cdot 10^3 / 280 = 524 \text{ мм}^2.$$

Принимаем 5 Ø12 мм А300,

$$A_{s1}^{\text{факт}} = 565 \text{ мм}^2.$$

2-ое сечение: при $h_2 = 2,03 \text{ м}$,

$$A_{s1} = 1,1 \cdot 160,6 \cdot 2,03 \cdot 10^3 / 280 = 1281 \text{ мм}^2.$$

Принимаем 10 Ø14 мм А300,

$$A_{s1}^{\text{факт}} = 1539 \text{ мм}^2.$$

3-е сечение: при $h_3 = 1,8 \text{ м}$,

$$A_{s1} = 1,1 \cdot 54,2 \cdot 1,8 \cdot 10^3 / 280 = 383 \text{ мм}^2.$$

Принимаем 5 Ø10 мм А300,

$$A_{s1}^{\text{факт}} = 393 \text{ мм}^2.$$

Площадь вертикальной арматуры:

$$A_s^B = 1,1 M_{\max} b / (0,9 h_0 R_s) \quad (b=1 \text{ м}) \quad (5)$$

$$A_s^B = 1,1 \cdot 16,7 \cdot 1 \cdot 10^6 / (0,9 \cdot 180 \cdot 280) = 405 \text{ мм}^2.$$

Принимаем 5 Ø12 мм А300,

$$A_{s1}^{\text{факт}} = 565 \text{ мм}^2.$$

Расчет и конструирование днища железобетонного резервуара

Расчет днища резервуара производим приближенным методом, как балки на упругом основании единичной длины.

Учитывая громоздкость вычислений, приводим окончательные величины максимальных моментов.

В сечении под стенкой

$$M_{\max} = 21,85 \text{ кНм/м.}$$

В средней части днища.

Радиальные моменты:

от давления воды

$$M_1^B = -11,04 \text{ кНм/м}$$

от давления грунта

$$M_1^{ГР} = 5,972 \text{ кНм/м}$$

от давления стенки

$$M_1^{СТ} = 6,143 \text{ кНм/м}$$

Кольцевые моменты:

от давления воды

$$M_2^B = -0,517 \text{ кНм/м}$$

от давления грунта

$$M_2^{ГР} = 0,489 \text{ кНм/м}$$

от давления стенки

$$M_2^{СТ} = -0,255 \text{ кНм/м}$$

Случай 1 – резервуар заполнен водой, но не обсыпан грунтом.

$$M_1 = M_1^B + M_1^{СТ} = -11,04 + 6,143 = -4,899 \text{ кНм/м}$$

$$M_2 = M_2^B + M_2^{СТ} = -0,517 - 0,255 = -0,772 \text{ кНм/м}$$

Случай 2 – резервуар обсыпан грунтом, но не заполнен водой

$$M_1 = M_1^{ГР} + M_1^{СТ} = 5,972 + 6,143 = 12,115 \text{ кНм/м}$$

$$M_2 = M_2^{ГР} + M_2^{СТ} = 0,489 - 0,255 = 0,234 \text{ кНм/м}$$

Для дальнейших расчетов принимаем максимальные значения моментов:

В сечении под стенкой

$$M_{\max} = 21,85 \text{ кНм/м.}$$

В средней части днища

$$M_1 = 12,115 \text{ кНм/м}$$

$$M_2 = -0,772 \text{ кНм/м.}$$

Определяем площадь арматуры.

В сечении под стенкой

$$A_s = 1,1 \cdot 21,85 \cdot 1 \cdot 10^6 / (0,9 \cdot 180 \cdot 280) = 530 \text{ мм}^2.$$

Принимаем 5 Ø12 мм А300,

$$A_{s1}^{\text{факт}} = 565 \text{ мм}^2.$$

Арматуру в другом направлении принимаем из условия свариваемости 5 Ø6 мм А240 с шагом 200 мм.

Таким образом, толщину днища под стенкой принять 200 мм и армировать в нижней и верхней зонах сетками:

$$5 \text{ Ø12 А300} - 200 / 5 \text{ Ø6 А300} - 200$$

В средней части днища.

Площадь радиальной арматуры

$$A_s = 1,1 \cdot 12,115 \cdot 1 \cdot 10^6 / (0,9 \cdot 130 \cdot 225) = 503 \text{ мм}^2.$$

Принимаем 5 Ø12 мм А240, $A_{s1}^{\text{факт}} = 565 \text{ мм}^2$.

Площадь кольцевой арматуры

$$A_s = 1,1 \cdot 0,772 \cdot 1 \cdot 10^6 / (0,9 \cdot 130 \cdot 225) = 29,3 \text{ мм}^2.$$

Принимаем конструктивно 5 Ø6 мм А-240.

Таким образом, проведя определенные расчеты, автор приходит к выводу, что:

1. За счет заглубления стального вертикального цилиндрического резервуара на глубину 6 м стенка и днище резервуара должны быть усилены для предотвращения их разрушения.

2. Усиление стенки и днища проводить устройством внутреннего железобетонного слоя торкретжелезобетона. Толщина стенки железобетонного резервуара 200 мм, толщина днища на ширине 0,7 м под стенкой 200 мм, толщина центральной части днища 150 мм.

Далее рассмотрим вариант № 2.

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

Резервуар заглублен в грунт на глубину 6 м. Для усиления стенки резервуара были смонтированы внутренние стойки и наружные шпангоуты из швеллера № 10: шесть стоек через 60^0 с шагом 4,46 м; пять шпангоутов с шагом, считая от днища, 2,25 м; 1,5 м; 1,5 м; 1,5 м; 0,75 м.

Для технологических нужд внутри резервуара установлена стальная перегородка из листовой стали толщиной 4мм и высотой 7,46 м. Разделительная стенка укреплена стальным каркасом из швеллера №10. Каркас состоит из семи стоек с шагом 1,42 м и четырех поперечин с шагом 1,5 м.

При техническом обследовании резервуара были выявлены дефекты стенки резервуара в виде достаточно больших выпучин с резкими перегибами: три выпучины площадью 6м² и глубиной 100 мм, 150 мм, 250 мм и одна выпучина площадью 5 м² с глубиной 150 мм. Все выпучина расположены в зоне первого шпангоута.

Расчет стенки стального вертикального цилиндрического резервуара, заглубленного в грунт, на устойчивость

Проверка на устойчивость корпуса резервуара объемом 400 м³ со стационарным покрытием, заглубленного в грунт. Район строительства – г. Балашов. Продукт хранения – промливневые стоки (рис.38, 39).

Данные для расчета:

1. Высота корпуса резервуара **$H = 7.45$ м.**
2. Внутренний диаметр корпуса **$D = 8.53$ м.**
3. Количество поясов в стенке корпуса **$n = 5$.**
4. Ширина (высота) пояса стенки **$h_{п} = 1,49$ м.**
5. Толщина поясов: **4 мм.**
6. Величина вакуума **$m_{п} = 0,25$ кПа.**
7. Высота налива нефтепродукта **$h = 5.63$ м.**
8. Снеговой район – III, **$s = 1.8$ кН/м²**

Конструкция резервуара РВС-400

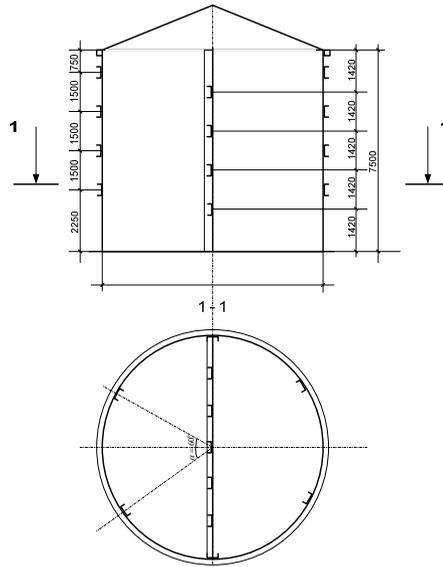


Рис. 38. Конструкция резервуара РВС-400

Расчетные схемы резервуара

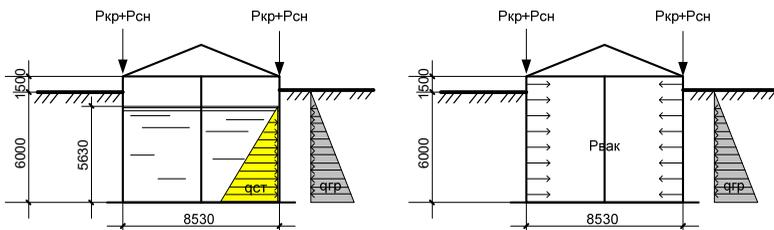


Рис. 39. Расчетная схема резервуара на устойчивость

А. Проверку устойчивости проводим для нижних поясов стенки толщиной 4 мм, расположенных между крайками днища и промежуточным кольцом жёсткости (1 и 2 пояса стенки).

Определение меридиональных напряжений. Меридиональные сжимающие напряжения в стенке резервуара возникают от вертикальных нагрузок.

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

Постоянные нагрузки.

Масса кровли

$$m_{кр} = 0,474 \text{ кН/м}^2.$$

Временные нагрузки.

Величина снеговой нагрузки

$$m_{сн} = 1,8 \text{ кН/м}^2.$$

Величина вакуума

$$m_{вак} = 0,25 \text{ кН/м}^2.$$

Определим расчетные продольные сжимающие усилия от кровли

$$N_{кр} = \gamma_{f,1} m_{кр} D/4 = 1,05 \cdot 0,474 \cdot 8,53/4 = 1,06 \text{ кН/м};$$

от массы снега

$$N_{сн} = m_{сн} D/4 = 1,8 \cdot 8,53/4 = 3,84 \text{ кН/м};$$

от вакуума

$$N_{вак} = \gamma_{f,2} m_{вак} D/4 = 1,2 \cdot 0,25 \cdot 8,53/4 = 0,64 \text{ кН/м}.$$

Полное сжимающее меридиональное усилие определим как сумму усилий от каждого вида нагрузок:

$$N_1 = N_{кр} + (N_{сн} + N_{вак}) n_c = 1,06 + (3,84 + 0,64) \cdot 0,9 = 5,1 \text{ кН/м} = 0,051 \text{ кН/см}.$$

Меридиональные напряжения в нижних поясах стенки резервуара от продольных сжимающих усилий

$$\sigma_1 = N_1 / t = 0,051 / 0,4 = 0,128 \text{ кН/см}^2,$$

где рабочая толщина пояса $t = 0,4$ см.

Величина критического меридионального напряжения ($\sigma_{1,cr}$) для рассматриваемого пояса

$$\sigma_{1,cr} = C \cdot E \cdot t_{p,min} / R = 0,0775 \cdot 20600 \cdot 0,4 / 426,5 = 1,5 \text{ кН/см}^2,$$

где величина коэффициента C при $400 \leq R/t = 426,5/0,4 = 1066,3 \leq 1220$ равна $C = 0,04 + 40 \cdot t / R = 0,04 + 40 \cdot 0,4 / 426,5 = 0,0775$.

Определение кольцевых напряжений. Кольцевые сжимающие напряжения в стенке резервуара возникают от радиальных сжимающих нагрузок – отпора грунта и вакуума: $m_{вак} = 0,25 \text{ кН/м}^2$;

Кольцевые сжимающие усилия в нижних поясах стенки резервуара определяем по формуле

$$N_2 = (N_{\text{отпор}} + N_{\text{вак}}) \cdot n_c = (48,75 + 1,28) \cdot 0,9 = 45 \text{ кН/м} = 0,45 \text{ кН/см},$$

$$\text{где } N_{\text{отпор}} = (N_{\text{отпор}1} + N_{\text{отпор}2})/2 = (60 + 37,5)/2 = 48,75 \text{ кН/м}$$

$$N_{\text{отпор}1} = \gamma \cdot \rho \cdot H_{\text{гр}} \cdot \text{tg}^2(45 - \varphi/2) = 1,2 \cdot 17 \cdot 6 \cdot \text{tg}^2(45 - 20/2) = 60 \text{ кН/м}$$

$$N_{\text{отпор}2} = \gamma \cdot \rho \cdot H_{\text{гр}} \cdot \text{tg}^2(45 - \varphi/2) = 1,2 \cdot 17 \cdot 3,75 \cdot \text{tg}^2(45 - 20/2) = 37,5 \text{ кН/м}$$

$$N_{\text{вак}} = \gamma_{f,2} \cdot m_{\text{вак}} \cdot D/2 = 1,2 \cdot 0,25 \cdot 8,53/2 = 1,28 \text{ кН/м}$$

Кольцевые сжимающие напряжения для нижних поясов равны

$$\sigma_2 = N_2 / t = 0,45 / 0,4 = 1,13 \text{ кН/см}^2$$

Высота расположения кольца жесткости от днища резервуара

$$H_r = 2,25 - 0,1 - 0,3 = 1,85 \text{ м.}$$

Тогда кольцевые критические напряжения в поясе толщиной $t = 0,4 \text{ см}$

$$\sigma_{2cr} = 0,55 \cdot E(R/H_r)(t/R)^{3/2} = 0,55 \cdot 20600 \cdot (426,5/185) \cdot (0,4/426,5)^{1,5} = 0,75 \text{ кН/см}^2$$

Устойчивость нижних поясов стенки

$$\sigma_1/\sigma_{1cr} + \sigma_2/\sigma_{2cr} = (0,128/1,5) + (1,13/0,75) = 0,085 + 1,5 = 1,6 > 1.$$

Условие не выполняется.

Б. Выполним проверку устойчивости для поясов стенки толщиной 4 мм, расположенных между промежуточными кольцами жесткости (2 и 3 пояс).

Определение меридиональных напряжений. Меридиональные сжимающие напряжения в стенке резервуара возникают от вертикальных нагрузок.

Постоянные нагрузки.

Масса кровли и оборудования

$$m_{\text{кр}} = 0,474 \text{ кН/м}^2$$

Временные нагрузки.

Величина снеговой нагрузки

$$m_{\text{сн}} = 1,8 \text{ кН/м}^2$$

Величина вакуума

$$m_{\text{вак}} = 0,25 \text{ кН/м}^2$$

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

Определим расчетные продольные сжимающие усилия по выражениям:

от кровли и оборудования

$$N_{кр} = \gamma_{т,1} m_{кр} D/4 = 1,05 \cdot 0,474 \cdot 8,53/4 = 1,06 \text{ кН/м}$$

от массы снега

$$N_{сн} = m_{сн} D/4 = 1,8 \cdot 8,53/4 = 3,84 \text{ кН/м}$$

от вакуума

$$N_{вак} = \gamma_{т,2} m_{вак} D/4 = 1,2 \cdot 0,25 \cdot 8,53/4 = 0,64 \text{ кН/м}$$

Полное сжимающее меридиональное усилие определим как сумму усилий от каждого вида нагрузок

$$N_1 = N_{кр} + (N_{сн} + N_{вак}) n_c = 1,06 + (3,84 + 0,64) \cdot 0,9 = 5,1 \text{ кН/м} = 0,051 \text{ кН/см.}$$

Меридиональные напряжения в нижних поясах стенки резервуара от продольных сжимающих усилий:

$$\sigma_1 = N_1 / t = 0,051 / 0,4 = 0,128 \text{ кН/см}^2$$

Величина критического меридионального напряжения ($\sigma_{1,cr}$) для рассматриваемого пояса

$$\sigma_{1,cr} = C \cdot E \cdot t / R = 0,0775 \cdot 20600 \cdot 0,4 / 426,5 = 1,5 \text{ кН/см}^2$$

где величина коэффициента C при $400 \leq R/t = 426,5/0,4 = 1066,3 \leq 1220$ равна $C = 0,04 + 40 \cdot t / R = 0,04 + 40 \cdot 0,4 / 426,5 = 0,0775$

Определение кольцевых напряжений. Кольцевые сжимающие напряжения в стенке резервуара возникают от радиальных сжимающих нагрузок – отпора грунта и вакуума: $m_{вак} = 0,25 \text{ кН/м}^2$;

Кольцевые сжимающие усилия в верхнем поясе стенки резервуара определяем по формуле (45)

$$N_2 = (N_{отпор} + N_{вак}) n_c = (30 + 1,28) \cdot 0,9 = 28,2 \text{ кН/м} = 0,282 \text{ кН/см,}$$

где $N_{отпор} = (N_{отпор1} + N_{отпор2}) / 2 = (37,5 + 22,5) / 2 = 30 \text{ кН/м}$

$$N_{отпор1} = \gamma \cdot \rho \cdot H_{гр} \cdot \text{tg}^2(45 - \varphi/2) = 1,2 \cdot 17 \cdot 3,75 \cdot \text{tg}^2(45 - 20/2) = 37,5 \text{ кН/м}$$

$$N_{отпор2} = \gamma \cdot \rho \cdot H_{гр} \cdot \text{tg}^2(45 - \varphi/2) = 1,2 \cdot 17 \cdot 2,25 \cdot \text{tg}^2(45 - 20/2) = 22,5 \text{ кН/м}$$

$$N_{вак} = \gamma_{т,2} m_{вак} D/2 = 1,2 \cdot 0,25 \cdot 8,53/2 = 1,28 \text{ кН/м}$$

Кольцевые сжимающие напряжения для поясов равны

$$\sigma_2 = N_2 / t = 0,282 / 0,4 = 0,704 \text{ кН/см}^2.$$

Расстояние между кольцами жёсткости

$$H_r = 1,5 - 0,2 = 1,3 \text{ м.}$$

Тогда кольцевые критические напряжения в поясе толщиной $t = 0,4 \text{ см}$

$$\sigma_{2cr} = 0,55 \cdot E(R/H_r)(t_{p,\min}/R)^{3/2} = 0,55 \cdot 20600 \cdot (426,5/130) \cdot (0,4/426,5)^{1,5} = 1,07 \text{ кН/см}^2$$

Устойчивость нижних поясов стенки

$$\sigma_1/\sigma_{1cr} + \sigma_2/\sigma_{2cr} = (0,128/1,5) + (0,704/1,07) = 0,085 + 0,66 = 0,74 < 1.$$

Условие выполняется.

Проведённый расчёт стенки резервуара на устойчивость без учета дефектов стенки (выпучин различной площади и глубины) показал следующее:

1) стенка резервуара между днищем и первым ребром жёсткости теряет устойчивость даже без учёта дискретно расположенных повреждений;

2) устойчивость стенки резервуара между первым и вторым ребрами жёсткости – обеспечена.

3) общая высота опасной зоны резервуара 2,25 м.

Таким образом, результаты расчёта стенки резервуара на устойчивость без учета ее дефектов, полученные автором, подтверждают необходимость усиления нижней части стенки, находящейся между днищем и первым кольцом жесткости (высота участка 2,25 м).

Известно, что дефекты стенки резервуара в виде выпучин с резкими перегибами приводят к концентрации напряжений. Причем коэффициент концентрации колеблется в пределах $k = 3 - 5$. Поэтому считаем необходимость расчета стенки резервуара с учётом имеющихся дефектов для определения размеров зоны, в которой устойчивость стенки резервуара может быть не обеспечена.

В виду отсутствия в нормативной литературе методики расчета резервуаров на устойчивость с учётом подобных дефектов, приводим результаты расчёта корпуса резервуара по методу конечных элементов на расчётном комплексе «ПК Лира».

Анализ результатов расчета стенки резервуара на устойчивость с учетом ее дефектов, показал следующее.

1. Учет одной выпучины площадью 6 м^2 привел к значительному повышению величины радиальных и меридиональных напряжений в месте ее расположения.

Значения напряжений.

Таблица 2

Напряжения	Без учетом дефекта		С учетом дефекта	
Радиальные, МПа	$\sigma_{\max} = -20,1$	$\sigma_{\min} = 4,1$	$\sigma_{\max} = -107$	$\sigma_{\min} = 101$
Меридиональные, МПа	$\sigma_{\max} = 53,5$	$\sigma_{\min} = 3,4$	$\sigma_{\max} = -215$	$\sigma_{\min} = 37,5$

2. Коэффициент концентрации напряжений в местах расположения дефектов колеблется в пределах $k=4-5$.

3. Потеря устойчивости стенки резервуара происходит как между днищем и первым кольцом жесткости (высота 2,25 м), так и между первым и вторым кольцами жесткости (высота 1,5 м). Общая высота опасной зоны резервуара 3,75 м.

4. Причина увеличения высоты опасной зоны – наличие значительных дефектов стенки в районе расположения первого кольца жесткости.

Итак, анализируя данные расчетов, можно отметить, что:

1. За счет заглубления стального вертикального цилиндрического резервуара на глубину 6 м нижние два пояса корпуса должны быть усилены для предотвращения его разрушения от потери устойчивости.

2. За счет имеющихся дефектов в корпусе резервуара нижние пояса стенки на высоту 3,75 м должны быть усилены для предотвращения его разрушения от потери устойчивости.

3. Усиление стенки проводить устройством слоя торкрет бетона толщиной не менее 25 мм по сетке с ячейкой 50·50 мм.

4. Вокруг резервуара на глубину не менее 0,5-0,75 м выполнить глиняный замок для предотвращения подтопления внешними сточными водами.

5. Внутреннюю поверхность резервуара окрасить битумной мастикой за два раза.

6. Профилактические осмотры резервуара проводить не реже 1 раза в 2 года.

2 вариант – с применением метода торкретирования является наиболее эффективным, так как не требует установки дополнительной арматуры и опалубки, а также оборудования для трамбования бетона в опалубке, в отличие от монолитного железобетона. В качестве же односторонней опалубки выступает сама поверхность заар-

мированного резервуара, а слой торкрет-бетона, нанесенный под высоким давлением обеспечивает хорошее сцепление с ремонтируемой поверхностью.

Необходимо отметить, что для проведения реконструкционных работ на нефтебазе в г. Балашове для стального цилиндрического резервуара типа РВС-400 был принят первый вариант, так как в Саратовской области есть только одна фирма, которая занимается торкрет-бетонными работами, и то в качестве объектов используется преимущественно ремонт фасадов.

Оценивая ситуацию в целом, автором предлагается внедрение в строительную практику российских фирм использование перспективной технологии торкретирования для специализированных работ по усилению и реконструкции зданий и сооружений. Проблема проведения ремонта инженерных сооружений актуальна не только для Саратовской области, эта проблема касается и других областей России.

4.2. Усиление каменных фундаментов технологией торкретирования

При обследовании памятников архитектуры в большинстве случаев выявляются повреждения боковой поверхности, расслоения кладки, разрывы тела фундамента. По предложению автора было проведено усиление бутобетонного фундамента сценической коробки областной филармонии им. Шнитке в г. Саратове (рисунок 40), которая является памятником архитектуры. В ходе обследования фундамента выявлена необходимость восстановления разрушенной кладки фундамента из-за периодического подтопления подземными и поверхностными водами. Со стороны сценической коробки располагался временный гараж, где постоянно мыли легковые автомобили. Подтопление фундамента происходило не только снизу, но и у основания стены.

Известно много методов усиления фундаментов, описанных в существующей литературе. Однако эти способы имеют существенные ограничения в практическом применении. В случае постоянного или периодического подтопления грунтов основания известные способы не обеспечивают защиту кладки фундамента от разрушительного воздействия замачивания в уровне подошвы. Кроме того, эксплуатационная надежность работы и долговечность восстановленного фундамента зависят от сохранности и работоспособности оголенных арматурных стержней-анкеров, обеспечивающих совместную работу существующего фундамента и бетонных

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

приливов. Оголенная арматура, расположенная в грунте, активно корродирует, и впоследствии разрушается, что приводит к нарушению совместности работы фундамента и бетонных приливов, то есть к резкому снижению эффективности способа восстановления фундамента.

Автором предлагается усиление и гидроизоляцию каменных фундаментов выполнять с использованием технологии торкретирования. Затем под подошвой фундамента выполняют бетонирование перемычки, в которой устанавливают жесткую арматуру. С обеих сторон стен над обрезами фундамента крепят упоры с помощью арматурных анкеров. К арматуре и упорам прикрепляют вертикальные арматурные стержни и выполняют их преднапряжение с помощью гаек. Затем торкретируют фундамент с обеих сторон. После набора прочности торкрет - бетона вокруг фундамента образуется преднапряженная железобетонная обойма с передачей усилия преднапряжения на стены в зоне обреза фундамента.

Достоинство предложенного способа усиления каменных фундаментов состоит в повышении их жесткости, несущей способности и долговечности. Действительно, железобетонная обойма защищает каменный фундамент от воздействия подземных вод и разрушения, что увеличивает срок его эксплуатации. Преднапряженная железобетонная обойма обжимает каменный фундамент, за счет чего происходит обеспечение их совместной работы. В результате восстановленный фундамент имеет увеличенную ширину подошвы и глубину ее заложения, что значительно повышает несущую способность фундамента и грунтового основания.



Рис. 40. Филармония им. Шнитке г. Саратов

Способ восстановления каменных фундаментов (рисунок 41) под стены состоит в следующем. Существующий фундамент по

длине разбивали на захваты. На каждой захватке откапывали фундамент с обеих сторон и вынимали грунт основания из-под подошвы на требуемую глубину. Очищали поверхность фундамента от грунта, разрушенных камней и раствора. Затем под подошвой фундамента выполняли торкретирование перемычки, в которой устанавливали жесткую дискретную арматуру из спаренных швеллеров. К дискретной арматуре прикрепляли вертикальные арматурные стержни на сварке. Верхний упор заделывали в кирпичную стену толщиной 640 мм и производили преднапряжение арматурных стержней с помощью гаек. Бетонирование фундамента проводилось под давлением около $2,5 \text{ кг/м}^2$.

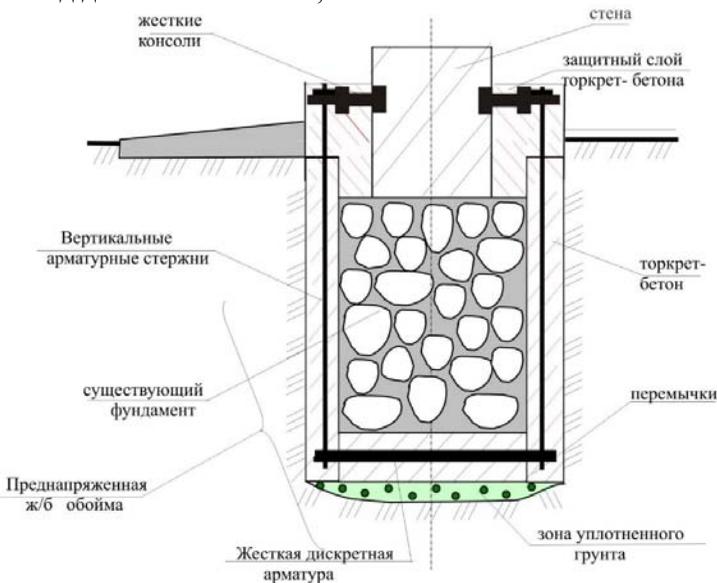


Рис. 41. Схема усиления фундамента

Данный способ усиления позволяет передавать усилия преднапряжения на монолитную железобетонную обойму, выполненную методом торкретирования, что приводит к созданию своеобразного «ящика», в котором располагается фундамент, защищающий фундамент от замачивания, сохраняющий структуру кладки фундамента и схему передачи нагрузки от стен, а также повышающий несущую способность фундамента за счет увеличения ширины железобетонной обоймы под фундаментом и повышенной адгезионной прочностью сцепления с телом фундамента.



Рис. 42. Подготовка поверхности к торкретированию

4.3. Применение технологии торкретирования для восстановления Церкви Благовещения Пресвятой Богородицы

4.3.1. Историческая справка

В 1911 году вдова купца Агафонова Ксения Никитична и ее сын Владимир Васильевич решили в память мужа и отца соорудить в поселке Агафоновка за полотном железной дороги церковь-школу. В 1912 году здание каменной однопрестольной церкви-школы было готово и храм освящен во имя Благовещения Пресвятой Богородицы. Здание имело черты псевдорусского стиля. Над церковью возвышался на круглом барабане купол, а над входом устроена небольшая двухарочная звонница, украшенная тремя главками. Облик храма напоминал храмы древнего Пскова.



Рис. 43. Церковь Благовещения Пресвятой Богородицы 1912 г.

В годы Советской власти, после революции храм был закрыт, купола и звонница снесены, а на оставшуюся часть храма надстроен второй этаж. Здание было превращено в жилой дом коммунального типа.

7 июля 2004 года Указом Преосвященнейшего Лонгина, епископа Саратовского и Вольского, клирик *храма в честь Рождества Христова* иерей Игорь Емельяненко был назначен настоятелем общины храма в честь Благовещения Пресвятой Богородицы. В начале 2005 года началось расселение жильцов из обезображенной церкви. Все расходы по их расселению храм взял на себя. В день Крещения Господня, 19 января, освободилась комната в западной части храма, там, где некогда был вход. После этого сразу же начался внутренний ремонт.



Рис. 44. Церковь Благовещения Пресвятой Богородицы 2007 г

1 марта 2005 года на храме был *установлен купол*. 23 марта 2005 года, в Неделю Торжества Православия, в Благовещенском храме

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

были совершены Чин положения Святого Антиминса и *первая Божественная Литургия*.

Планомерные архитектурно-археологические исследования памятника и подготовка к созданию проекта реставрации начались в 2005 году под руководством архитектора Белозерова, но вопрос о дальнейшей судьбе и использовании здания многие годы оставался открытым.

Проект предусматривает восстановление всех фасадов храма, искаженных дополнительными перестройками, нарушившими смысл композиции, восстановление купольной кровли, главным входом в церковь. Сохраняется в существующем виде верхний ярус пристройки, перестроенный и повышенный в годы советской власти, колокольня, которая играет важную роль в качестве архитектурной доминанты в окружении современной застройки. Сохраняются также фигурный фронтон над абсидой северного фасада, барельефы и арочные оконные проемы западного и восточного фасадов. Реализация проекта реставрации вернет церкви то значение, которое она имела в архитектуре города, и в максимально возможной степени восстановит его изначальный вид.

4.3.2. Техническое состояние церкви

Натурное обследование 2007 года выявило, что ввиду резкого изменения функций (от церкви до жилого дома коммунального типа) здание претерпело значительные разрушения. За время жестоко эксплуатации храма, без ремонта произошли следующие разрушения: утраты, деформации, перестройки:

Разрушены покрытия главного зала и купола, разрушены входные узлы (порталы входов, паперть, дверные полотна); кирпичная кладка первой трети XIX века имеет осыпания, вывалы раствора в швах кладки, трещины разрушения: историческая конструкция полов; утрачена отмостка и цоколь ослаблена кладка нижней части стен; утрачен купол; утрачен иконостас, кресты и внутреннее убранство. Разрушен входной портал с западной стороны храма и паперть перед колокольней.

Во многих местах произошло обрушение кирпичной кладки.

В годы советской власти была выполнена реконструкция храма под жилой дом на 10 квартир коммунального типа. По проекту изме-

нена радикально историческая форма покрытия колокольни с наклонными стенами над церковным притвором; по всему периметру здания пристроен дополнительный этаж; внутренний объем молитвенного зала с помощью горизонтального перекрытия разделен на два этажа с устройством верхних жилых помещений.

Техническое состояние кладки и убранства фасадов, церкви.

В результате натурных исследований установлено, что большая часть кладки фасадов церкви выполнена в XIX веке. Общий вид стен сохранил первоначальные формы здания, примененные в 1912 году, которые относятся к народной архитектуре. Это - форма карнизов и фриз, форма куполов, барабанов, завершение оконных и дверных проемов. Все фасадные стены выполнены из обожженного красного кирпича на известковом растворе, в кирпичном стиле. Имеют толщину от 0,90 до 1,1 м. Кирпичная кладка основного поля стены цепная (ложок-тычок) перевязкой швов, встречается тычковая кладка на алтаре и поясах карниза.

В результате реконструкции, проведенной в советские годы, барабан в покрытии отсутствует. Барабан представляет собой кирпичный объем, опирающийся посредством парусов на четыре столба-устоя. На барабан опирается сферический купол, в центр которого должна быть размещена декоративная башенка, поддерживающая главку с крестом. Вследствие проведения реконструкции 2007 г. барабан был восстановлен.

Восточный фасад наиболее полно сохранил исторически архитектурные формы церкви.

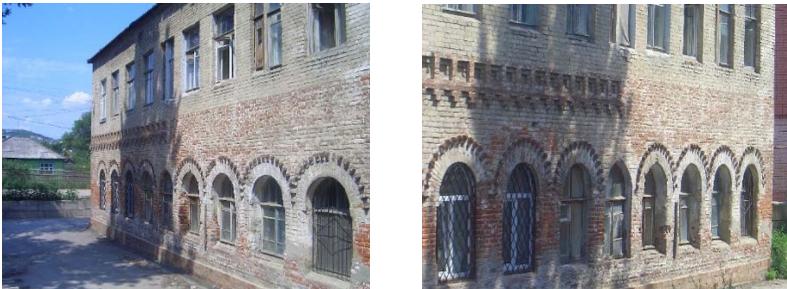


Рис. 45. Восточный фасад церкви

Обследование кладки восточного фасада выявило, что здесь применена тычковая кладка с расшивкой швов. Четко выражена граница

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

между пристройкой и первоначальной частью здания церкви. Характерно на этой границе указана линия карниза, выраженная в виде декоративных прямоугольных выступов, выполненных кирпичом. Поле стены содержит 9 полуциркульных оконных проемов размерами 2,5x2,1 м и 9 проемов пристройки 2 этажа. Дефекты фасада выражаются в высыпании облицовочного слоя кладки, в результате нарушения контуров и пластики обработки архитектурных форм (карниза, оконных обводов).

Северный фасад. С востока на запад протяженный фасад делится на две части: апсида алтаря; фасад пристройки.



Рис. 46. Северный фасад здания

Центральная апсида имеет наибольшую степень изношенности. На стенах апсид выделяются следующие архитектурно-конструктивные декоративные элементы:

- уступчатый карниз включает верхний ярус в виде сухариков;
- два оконных проема с рельефными обводами.

Дефекты кладки алтарной части выражаются в высыпании облицовочного слоя кладки, в результате нарушения контуров и пластики обработки архитектурных форм (карниза, оконных обводов, ниш). Стены особенно в цокольной части имеют изменение цвета кладки в местах увлажнения, размораживания и выветривания поверхностных слоев кладки.

На верхних участках стен имеются следы протечек, сопровождающихся разрушением поверхностных слоев (высолы, разрыхление при увлажнении отслоения и обрушения штукатурки и т. д.)

Поле стены пристройки содержит два оконных проема размером 1,2 x 2,1 м. Имеется обрушение кладки и частичное разрушение перемычек в результате применения некачественного материала и внешних воздействий.

Поле северной стены имеет неравномерный окрас, особенно в цокольной части имеются изменения цвета, что объясняется увлажнением размораживанием и выветриванием поверхностных слоев кладки.

Южный фасад имеет аналогичную композицию раскладки архитектурных элементов, что и восточный.



Рис. 47. Южный фасад храма

В убранстве фасада применены те же архитектурно-конструктивные элементы: рельефные карнизы; оконные обрамления; ниши в подоконном пространстве. Карнизы также имеют вид кирпичных постепенно выступающих вперед рядов, средний из которых выложен сухариком.

Дефекты кладки стены южного фасада также выражаются в наличии утрат и переделок. Основной утратой является вход, который был заложен в результате перестроек. Имеется обрушение карнизов и некоторых частей архитектурных элементов.

На верхних участках стен имеются следы протечек, сопровождающихся разрушением поверхностных слоев (высолы, разрыхление при увлажнении).

Западный фасад церкви выполнен в виде современной двухэтажной пристройки. По центру имеются главный вход в помещения и в колокольню, два дверных проема размером 1,2 x 2,3 м. Поле стены фасада содержит девять оконных проемов, один из которых

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

заложено кирпичом. Имеются обрушения кирпичной кладки и небольшие трещины в верхней и средней частях стены.

Двери. Церковь имеет три дверных проемов: три с северной и южной стороны и один главный вход, состоящий из двух рядом расположенных дверных проемов. Конструкция дверей состоит из деревянных полотен.

Окна. Памятник сохранил формы окон в кладке XIX века с полуциркульным и прямоугольным завершением. Высота окон 2.1 м, ширина 1.2 и 0,75 м. Оконные конструкции церкви состоят из одинарной оконной рамы. Переплеты фасадов церкви делятся на ячейки. Имеются локальные разрушения кладки под оконными проемами.

Отмостка разрушена по всему периметру здания.

Натурное обследование сопровождалось фотофиксационными и обмерными работами. Выполнено более 90 снимков, раскрывающих современное архитектурно-художественное и техническое состояние храма. Выполнен анализ снимков и составлены тематические фотоиллюстрации.



Рис. 48. Элементы разрушения западного фасада

В 2008 году было проведено обследование фундамента. По результатам обследования было выявлено, что фундамент практически полностью разрушен из-за систематического подтопления его подземными водами. Поэтому автором разработан комплект чертежей по восстановлению церкви. Согласно проекту предусмотрен монолитный фундамент, тело которого выполнено из торкретбетона. Применение торкретбетона позволит повысить эксплуатационную надежность фундамента и защитить его структуру от обводнения.

Также технологией торкретирования выполнены отдельные части фасада – колонны.

4.3.3. Малые архитектурные формы

Портальные тумбы северного портала храма изготавливались с использованием технологии торкретирования по оставляемой опалубке. Опалубка изготавливается из досок толщиной 40 мм. Сначала изготавливались из досок кружала, которые имеют форму очертания колонны. Кружала состояли из отдельных косяков, сбитых к бревну. Поверх кружал пришивали гвоздями опалубку из гипсокартона. Поверх опалубки на сухариках укладывали арматурную сетку. По образовавшейся поверхности вели торкретирование.

В рамках работ было предложено восстановление тумбы по технологии торкретирования.

Работы в себя включали пескоструйную очистку поверхности, устройство арматурной сетки по контуру тумбы, увлажнение поверхности, подбор состава для адгезии и нанесение торкретбетона по технологии мокрого торкретирования.

Общий вид тумбы и геометрические размеры представлены на рисунках 49–51.

Технологическая карта представлена на рисунке 52. Восстановление тумбы велось по технологии мокрого торкретирования.

Фасад колонны северного портала храма
Благовещения в г. Саратове

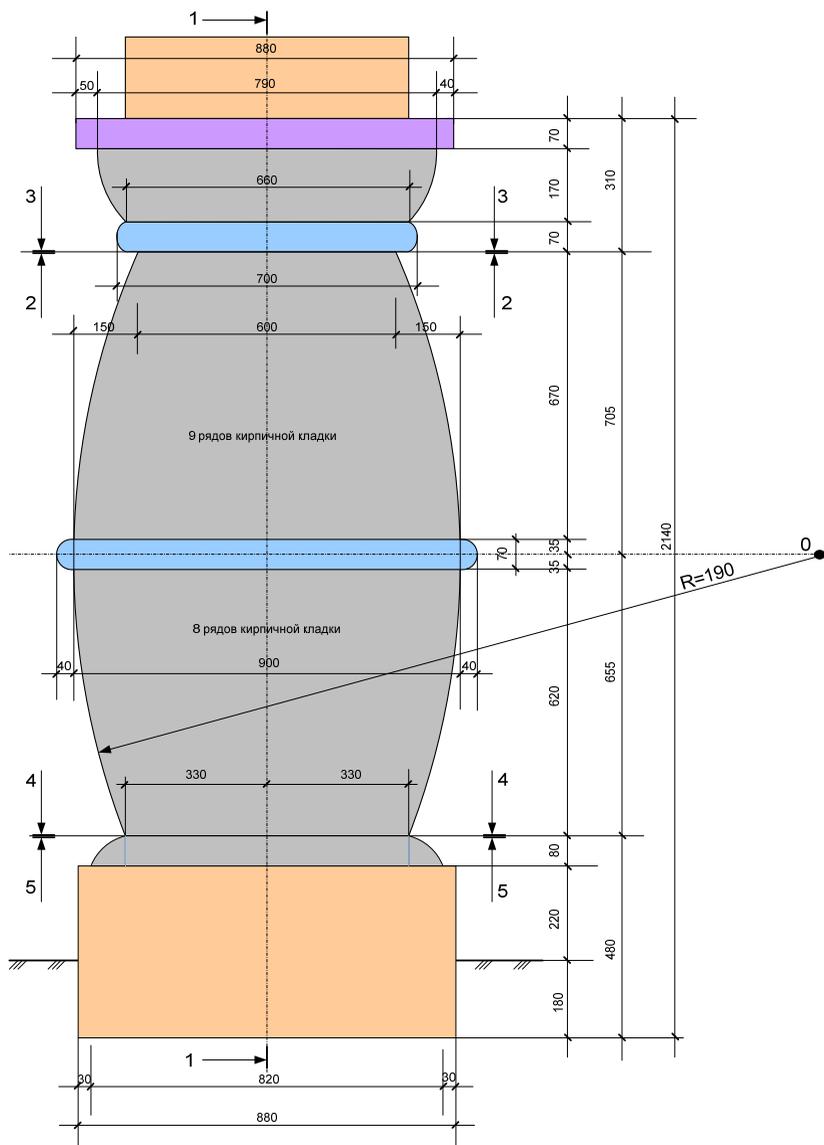


Рис. 49. Фасад гумбы

1 - 1

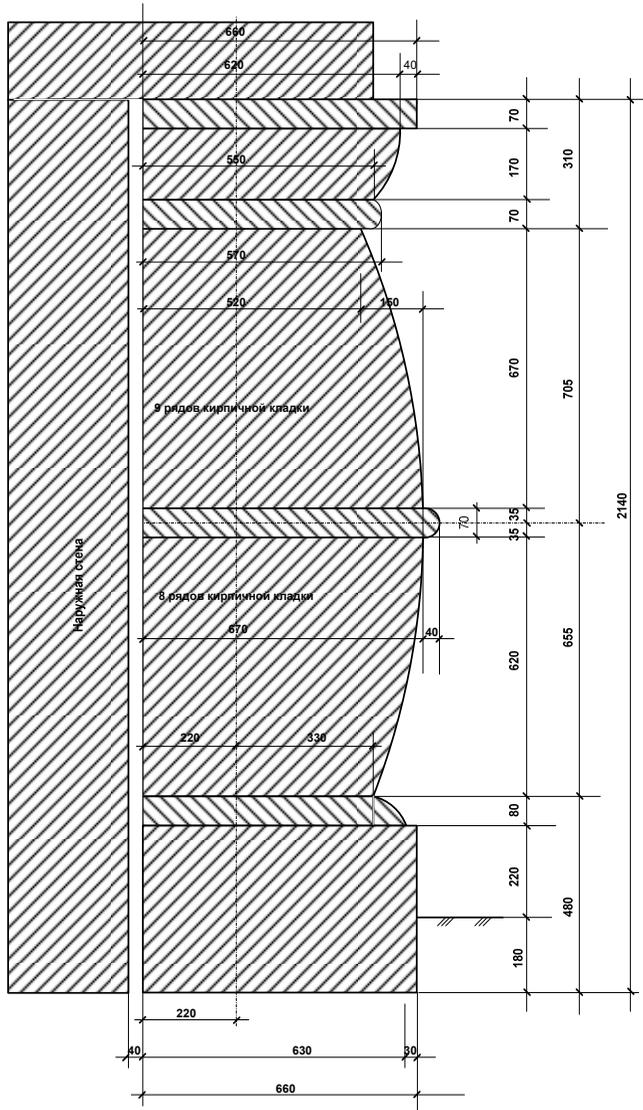


Рис. 50. Сопряжение со здание контура тумбы

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

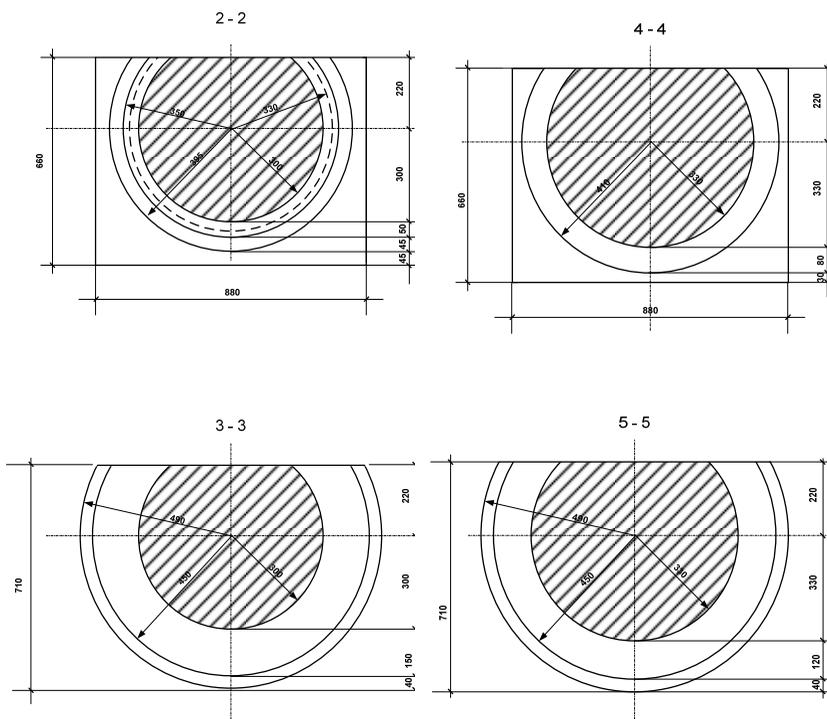


Рис. 51. Разрезы в сечении тумбы

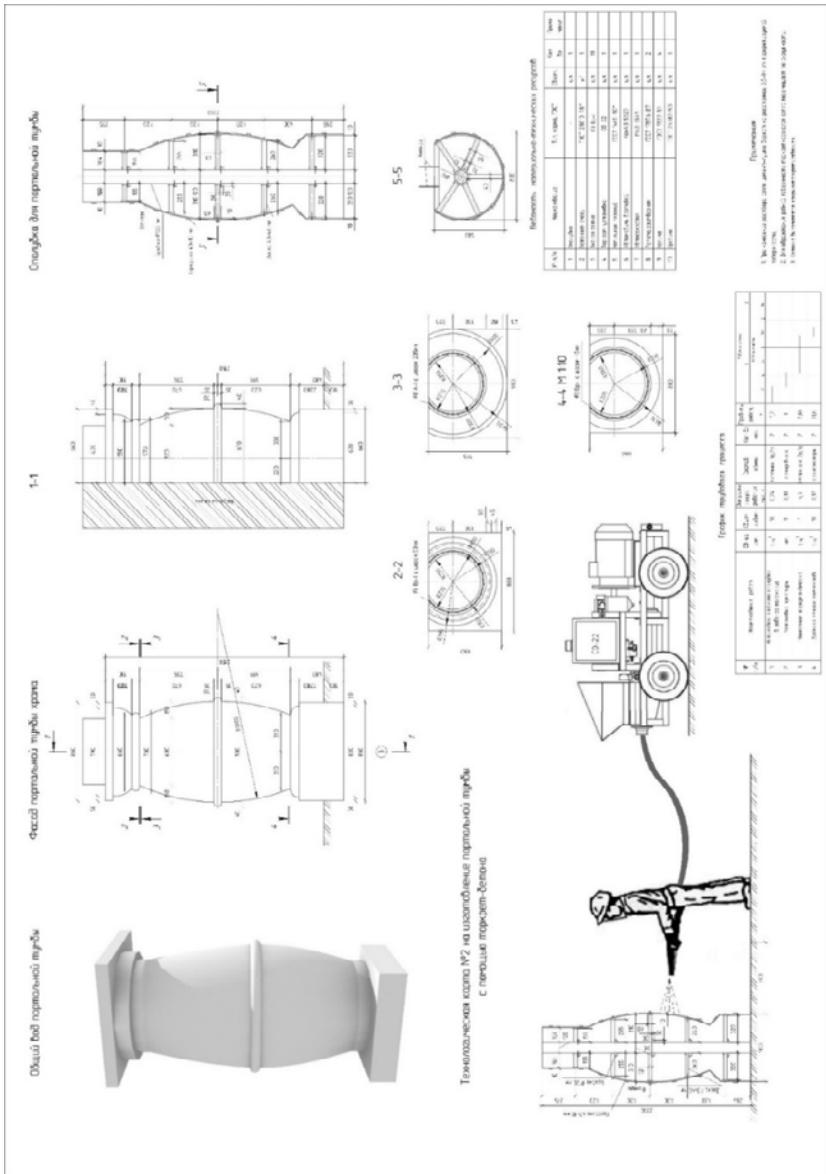


Рис. 52. Технологическая карта на восстановление туннели по технологии мокрого торкретирования

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

Предположения эффективности изучаемой технологии для реконструкции и усиления зданий и сооружений должны иметь и практическое подтверждение в области строительства новых конструкций, кроме того, основной вопрос работы новых конструкций требует обоснование в виде экспериментальных исследований.

На основе проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Технология мокрого торкретирования успешно применяется при реконструкции инженерных сооружений. На основе сравнения результатов расчета выявлено, что применение торкретбетона является наиболее эффективным, так как не требует установки дополнительной арматуры и опалубки, а также оборудования для трамбования бетона в опалубке, в отличие от монолитного железобетона.

2. Применение торкретбетона при выполнении работ по усилению фундамента позволило получить значительную экономию. При восстановлении несущей способности фундамента сценической коробки здания областной филармонии им. Шнитке привело к снижению стоимости работ до 18%, повышению несущей способности до 16%, повышение защиты фундамента от обводнения грунтов основания до 100%.

3. Предложена технологическая карта на восстановление малой архитектурной формы – тумбы в рамках проекта реконструкции Церкви.

Заключение

Технологии сухого и мокрого торкретирования с тонкозернистым или плотным бетоном открывают большие возможности для строительства в России. Их уникальность заключается в применении односторонней опалубки, которой может выступать как естественный грунт основания, так и синтетические и органические материалы. Рассмотренные примеры нового строительства по технологиям торкретирования за рубежом служат навигатором для расширения области использования торкретбетона в строительной практике России.

Методику оценивания эффективности технологий торкретирования можно рассматривать с точки зрения кластерного анализа. Кластеризация технологии торкретирования рассматривается как многоуровневой кластер, учитывающий все параметры этой прогрессивной технологии. Выделяют 4 основных кластера, которые позволяют провести качественную оценку технологии с учетом всех ее особенностей: сырьевой, технологический, конструктивный, расчётный. В рамках работы предложен общий алгоритм оценивания технологий торкретирования при взаимодействии его кластеров.

Предложенные концепт-проекты общественных зданий показывают эффективность применения технологии мокрого торкретирования с точки зрения архитектурно-композиционного и конструктивного решений. В рамках работы над дипломными проектами разработаны индивидуальные технологические карты, отражающие суть технологии мокрого торкретирования с последовательным указанием работ по созданию криволинейных покрытий, где в качестве опалубки применяется утеплитель синтетического и органического состава.

При практическом применении технологии мокрого торкретирования выявлено, что внедрение в строительную практику российских фирм перспективной технологии торкретирования для специализированных работ по усилению и реконструкции зданий и сооружений обосновано с точки зрения конструктивного и технологического кластеров.

Технология мокрого торкретирования успешно применяется при реконструкции инженерных сооружений. На основе сравнения ре-

Технологии торкретирования для строительства и реконструкции зданий и сооружений

зультатов расчета выявлено, что применение торкретбетона является наиболее эффективным, так как не требует установки дополнительной арматуры и опалубки, а также оборудования для трамбования бетона в опалубке, в отличие от монолитного железобетона.

Применение торкретбетона при выполнении работ по усилению фундамента позволило получить значительную экономию. При восстановлении несущей способности фундамента сценической коробки здания областной филармонии им. Шнитке привело к снижению стоимости работ до 18%, повышению несущей способности до 16%, повышению защиты фундамента от обводнения грунтов основания до 100%.

Расчет и работу новых конструкций из торкретфиброжелезобетона трудно оценить, так как практически отсутствует нормативная база для расчета конструкций на основе технологии торкретирования, что необходимо учесть в дальнейших исследованиях.

Список использованных источников

1. Аракелян Г.Г. Прогрессивная технология бетонирования под высоким давлением методом торкретирования «Торкрет–бетон» / Г.Г. Аракелян. – М., 2000 – 78 с.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона, строительных изделий и конструкций / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин [и др.] // Учебник для вузов. – М.: АСВ, 2004 – 256 с.
3. Бетонные и железобетонные конструкции // СП 63.13330.2018 актуализированная редакция СНиП 52–01–2003. – М.: ФГУП ЦПП, 2018.
4. Бетоны тяжелые и мелкозернистые // Технические условия: ГОСТ 26633-2012. – М.: Госстрой России, 2012.
5. Бетоны: методы определения прочности по контрольным образцам // ГОСТ 10180–2012. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2012.
6. Бетоны: методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций // ГОСТ 28570–2019. – М.: Государственный строительный комитет, 2019.
7. Бетоны: правила контроля прочности // ГОСТ 18105–2010. – М.: Минстрой России, 2010.
8. Бетоны: правила подбора состава // ГОСТ 27006–2019. – М.: Государственный строительный комитет, 2019.
9. Голова Т.А. Кластеризация технологии торкретирования с позиции единого системного комплексного подхода / Т.А. Голова, Л.Р. Малиян // Строительство и архитектура. – Т. 10. – 2022. – № 2. – С. 41–45.
10. Емельянова, Т.А. Многослойный строительный элемент / Т.А. Емельянова, А.П. Денисова // Пат. № 98441. РФ. – БИ, 2010. - №29.
11. Емельянова Т.А. Исследование новой биопозитивной конструкции стены / Т.А. Емельянова, А.П. Денисова // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей IX Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом Знаний, 2009. – С. 20 – 23.
12. Емельянова Т.А. Исследование физико-механических свойств уплотненных мелкозернистых бетонов / Т.А. Емельянова, Н.А. Наумова // Проблемы прочности, надёжности и эффективности: сб. научных трудов. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. – С. 280–284.

13. Емельянова Т.А. Новая конструкция стены малоэтажных зданий сельского типа / Т.А. Емельянова, А.П. Денисова. // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: научные труды Тринадцатой международной межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, докторантов и аспирантов (14–21 апреля 2010 г.) Моск. Гос. Строит. Ун-т; Российск. Научно-техн. Общество; Международная ассоциация строи.высших учебн. Заведений; Российская академия архитектуры и строительных наук; Фонд содействия развития малых форм предприятий в научно-технической сфере. – М.: МГСУ: АСВ, 2010. – С. 69–71.

14. Емельянова Т.А. Новый «старый» торкрет-бетон / Т.А. Емельянова, А.П. Денисова // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 10. – С. 55 – 57.

15. Емельянова Т.А. Тенденции развития и перспективы применения метода торкретирования / Т.А. Емельянова, А.П. Денисова // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 12. – С. 48–49.

16. Железобетонные монолитные конструкции зданий // СП 52-103-2007. – Введ. 15.07.2007. – М.: ФГУП НИЦ «Строительство», 2007.

17. Методические рекомендации по технологии и механизации работ при строительстве, ремонте, усилении конструкций методом набрызга бетонной смеси. – М.: ЦНИИОМТП, 1986. – 28 с.

18. Методы испытаний нагружением: правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости // ГОСТ 8829–2018. – М.: МНТКС, 2018.

19. Рабинович Ф.Н. Руководство к применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений / Ф.Н. Рабинович, С.М. Баев. // Шифр М 10.1/06. – М., 2007. – 31 с.

20. РД ЭО 0447-03. Методика оценки состояния и остаточного ресурса железобетонных конструкций АЭС, важных для безопасности // Официальный сайт компании «Консультант Плюс».

21. СП 20.133330.2016. Нагрузки и воздействия // Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» при участии ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», 2016.

22. Тюки соломенные пресованные строительные теплоизоляционные // ТУ 5768-001-85608424-2008. – Волжский: Соломинка-Дом, 2008.

23. Editor Sika Services AG Tüffenwies 16 CH-8048 Zürich Authors Dr. sc. nat. Benedikt Lindlar, Sika Services AG CONCRETE SIKA SPRAYED CONCRETE HANDBOOK Dipl.-Ing. FH Markus Jahn, Sika Services AG Dipl.-Ing. HTL Jürg Schlumpf, Sika Services AG Layout Sika Services AG Corporate Marketing Service © 2020 by Sika AG All rights reserved The aim is to provide the reader with a comprehensible guide of the most relevant topics and requirements as the basics for practical applications of shotcrete. This should be useful and provide answers and assistance to questions from everyday life and working, without going into too much of the respective scientific details. Edition 2020

24. Dudley R. «Rusty» Morgan Advances in Shotcrete Technology for Infrastructure Rehabilitation / R. Dudley / Shotcrete Winter, 2006.

25. Dykmans Max J. Multi purpose dome structure and the construction thereof // Patent Number: 4,776,145. – Date of Patent: Oct. 11, 1988.

26. Hutter Joe. Shotcrete Repairs in Barbados – A Caribbean Experience / Joe Hutter, Jean-François Dufour, Nigel Fullam // Shotcrete Winter, 2007.

27. IronStraw – Stronger Communities through Straw Building // IronStraw – Stronger Communities through Straw Building [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ironstraw.org/index.html> (дата обращения: 26.11.2024).

28. Majchrzak, Wlodzimierz. Shotcrete Repairs – the Main Development Trend in Poland / Wlodzimierz Majchrzak, Wlodzimierz Czajka, Zdzislaw Jurek // Shotcrete Fall, 2006.

29. Parker Freda. The Road to a Home – First Steps Toward Your Own Monolithic Dome Home / Freda Parker. Updated January 29, 2007.

30. Roland Heere. Shotcrete Retrofit of a Mechanically Stabilized Earth Wall / Heere Roland, R. Morgan Dudley, Stephen Jungaro // Shotcrete Magazine. – Summer, 2001.

31. Standard Practice for Shotcrete CECW-EG Engineer Manual №1110-2-2005 DEPARTMENT OF THE ARMY US Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000

32. Agronomy Research 18(S1), 969–979, 2020 <https://doi.org/10.15159/AR.20.070> The experimental investigation of the mechanical properties of steel fibre-reinforced concrete according to different testing standards A. Ryabchikov, M. Kiviste, S.-M. Udras, M. Lindpere, A. Vassiljev and N. Korb

33. Shotcrete Simulator For Education of Shotcrete Robot Operators Petter Börjesson, Mattias Thell © Petter Börjesson, June 2009 © Mattias Thell, June 2009 Examiner: Ulf Assarsson Chalmers University of Technology Department of Computer Science and Engineering SE-412 96 Göteborg.

Научное издание

Иванова Татьяна Александровна

**ТЕХНОЛОГИИ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
И РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Монография

Чебоксары, 2024 г.

Компьютерная верстка *Е. В. Иванова*
Дизайн обложки *М. С. Фёдорова*

Подписано в печать 13.12.2024 г.

Дата выхода издания в свет 16.12.2024 г.

Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 5,12 Заказ К-1373. Тираж 500 экз.

Издательский дом «Среда»
428005, Чебоксары, Гражданская, 75, офис 12
+7 (8352) 655-731
info@phsreda.com
https://phsreda.com

Отпечатано в Студии печати «Максимум»
428005, Чебоксары, Гражданская, 75
+7 (8352) 655-047
info@maksimum21.ru
www.maksimum21.ru