

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО - СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Малинкин Андрей Сергеевич

**ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНИРОВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ ПОД ДНИЩАМИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ АППАРАТОВ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ**

Специальность 05.23.08 – Технология и организация строительства

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Верстов В.В.

Санкт - Петербург 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ БЕТОНИРОВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ.....	11
1.1 Методы и способы бетонирования полостей под днищами промышленных аппаратов	11
1.2 Сравнительный анализ бетононасосной техники.....	21
1.3 Требования к бетонным смесям подаваемые бетононасосом и обоснование выбора самоуплотняющихся бетонных смесей	28
1.4 Обзор конструктивных типов полостей и их классификация	40
Выводы по первой главе, цели и задачи исследования.....	41
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНИРОВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ.....	43
2.1 Теоретические основы для разработки нового метода бетонирования полостей	43
2.2 Технология бетонирования полостей методом нагнетания.....	50
2.3 Теоретическое обоснование параметров процесса перемещения бетонных смесей в полости.....	53
2.4 Определение показателя качества заполнения полости и его оценка	60
Выводы по второй главе	65
ГЛАВА 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ БЕТОНИРОВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ.....	67
3.1 Экспериментальная установка для проведения моделирования технологических процессов заполнения полостей.....	67
3.2 Разработка состава бетонной смеси для проведения экспериментов.....	74
3.3 Методика проведения испытаний	79
3.4 Анализ результатов экспериментальных данных.....	106
Выводы по третьей главе.....	112
ГЛАВА 4 НАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	114
4.1 Характеристики объекта.....	114

4.2 Экспериментальное оборудование и оснастка.....	119
4.3 Методика проведения эксперимента.....	121
Выводы по четвертой главе.....	129
ГЛАВА 5 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНИРОВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ И ЕЁ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ	131
5.1 Особенности технологии бетонирования полости под промышленным оборудованием.....	131
5.2 Техничко-экономическое обоснование применения новой технологии.....	136
5.3 Рекомендации по бетонированию различных конструктивных типов полостей	141
Выводы по пятой главе.....	148
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	150
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	152
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	163
<i>Приложение А</i> Схема экспериментальной установки для проведения модельных экспериментов для подачи бетонной смеси.....	164
<i>Приложение Б</i> Акт о внедрении научно-технической разработки № <u>1/14</u> от 12 ноября 2014 г, включая отчеты по производству бетонных смесей на ЗАО «Метробетон».....	165
<i>Приложение В</i> Акт о внедрении научно-технической разработки № <u>2/14</u> от 12 ноября 2014 г, включая выдержки из раздела ПОС «Спецтехнология»	172
<i>Приложение Г</i> Инструкция по бетонированию корпуса БР, включая «Технологический регламент по бетонированию полостей под промышленными аппаратами методом нагнетания».....	179
<i>Приложение Д</i> Протокол испытаний кернов в лаборатории ЗАО «Метробетон».....	199

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 17 октября 2009г. №823 "О схемах и программах перспективного развития электроэнергетики" и с поручением Председателя Правительства РФ поставлена задача о развитии тяжелой промышленности. Одной из основных тенденций развития машиностроительной, химической, энергетической и других отраслей промышленности является увеличение единичной мощности агрегатов, приводящей к необходимости монтажа укрупненных узлов, имеющих значительную площадь опорных плоскостей. После монтажа и установки в проектное положение таких узлов между основанием и их опорной поверхностью образуется пространство с доступом по периметру опорной плоскости аппарата. Эти полости могут иметь включения в виде отдельных трубопроводов для подачи охлаждающих жидкостей, газов, электроэнергии и т.п.

В массивных конструкциях после выверки горизонтальности и вертикальности на специальных монтажных опорах необходимо зафиксировать это выверенное положение, поэтому наиболее рациональным является вариант с последующим заполнением полости под аппаратом бетонной или другой строительной смесью. Известные способы бетонирования полостей под днищами аппарата обладают следующими недостатками: низкая скорость заполнения бетонной смесью, зачастую невозможность подачи бетонной смеси с нескольких сторон в связи с опасностью образования воздушных полостей, применение малоподвижных смесей, требующих применения дополнительного вибрационного воздействия, ограничения по высоте полости и их насыщению технологическими прокладками.

Таким образом, очевидна необходимость в разработке более совершенных технологических решений бетонирования полостей с применением принудительной подачи и самоуплотняющихся бетонных смесей (СУБС) под оборудование, обеспечивающих требуемую производительность, уменьшение трудоемкости работ при высоком качестве структуры монолитного слоя, возможность бетонирования зазоров, превышающих по высоте нормативные,

насыщенных технологическими включениями при сокращении использования нестандартного оборудования.

Степень разработанности.

Основополагающими для настоящего диссертационного исследования явились работы Арабаджяна И.Р., Бадьина Г.М., Баженова Ю.М., Верстова В.В., Головачева И.М., Колчеданцева Л.М., Кузьмичева В.А, Несветаева Г.В., Панарина С.Н., Панчурина Н.А., Паныша К.Ф., Петракова Б.И., Романовского В.Н., Тишкина Д.Д., Хайковича Д.М., Хаютина Ю.Г. и др.

Цель и задачи исследования.

Цель исследования - проведение исследований, направленных на разработку технологических процессов бетонирования полости под оборудованием с применением бетононасосной техники и самоуплотняющихся бетонных смесей.

Задачи исследования:

- провести сравнительный анализ существующих конструктивных типов полостей;
- выполнить сравнительный анализ существующих технологий устройства монолитных подливок под технологическое оборудование и способов подачи бетонной смеси в конструкции актуальные для современного строительного производства;
- разработать способ подачи бетонной смеси в полость между основанием и оборудованием, отвечающий критерию максимально возможной производительности при подаче смеси одновременно с нескольких сторон;
- определить влияние различных технологических прокладок в толще полости на распространение бетонной смеси;
- рассмотреть теоретическую и физическую модели происходящих процессов;
- провести модельные экспериментальные исследования разработанных решений для определения рациональных параметров подачи бетонной смеси в полость, имеющую в своем составе технологические включения, с нескольких сторон, исходя из оптимальной скорости подачи смеси для достижения

качественного заполнения объема, с использованием высокоподвижной строительной смеси обладающей высокой степенью живучести;

– подтвердить целесообразность и обосновать эффективность разработанных технологических решений по бетонированию полостей и целесообразность их применения на практике, определить технико-экономический эффект от их использования;

– разработать технологический регламент по реализации новой технологии бетонирования полостей под промышленными аппаратами.

Объект исследований – строительные технологические процессы при бетонировании полостей, насыщенных технологическими прокладками, с принудительной подачей самоуплотняющихся бетонных смесей.

Предмет исследований – параметры технологических процессов при бетонировании полостей, насыщенных технологическими проходками, с принудительной подачей самоуплотняющихся бетонных смесей; факторы, влияющие на сохранение подвижности бетонной смеси.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. На базе предложенной гипотезы выдвинут новый метод бетонирования полостей под промышленным оборудованием с применением бетононасосной техники и самоуплотняющихся бетонных смесей, обеспечивающий эффективное заполнение бетонной смесью полости с высокой степенью однородности забетонированного объема с учетом современных требований к полостям под крупногабаритными аппаратами.

2. Обоснованы физическая и математическая модели характера распространения бетонной смеси в полости в зависимости от параметров подачи и свойств бетонной смеси при одновременной подаче ее с нескольких сторон бетононасосом. Определен параметр, позволяющий количественно оценить фактическое качество заполнения полости. Составлена функциональная зависимость этого показателя от шести переменных, позволяющая прогнозировать качество заполнения полости.

3. В ходе экспериментальных исследований разработан состав бетонной смеси, позволяющий многократно в течение длительного времени проводить модельные эксперименты, сохраняющий при этом свои реологические свойства. Экспериментально определены: закономерность влияния скорости подачи бетонной смеси с различным расположением и количеством бетонопроводов по площади полости на равномерность заполнения смесью полости заданных объемов; влияние включений на качество заполнения полости.

4. Практически подтверждены рациональные технологические параметры режимов бетонирования полостей под промышленным оборудованием с применением бетононасоса, обеспечивающие качественное заполнение полостей за один этап высотой 150-350мм, не имеющих ограничений по внутреннему насыщению полостей и обеспечивающие минимальные материальные, трудовые и энергозатраты, на основании которых разработан технологический регламент. Обоснована рациональная схема контроля и измерения процесса заполнения полости бетонной смесью.

Методологической основой исследований является: литературный обзор; обобщение производственного опыта; математическое планирование экспериментальных исследований, проведение модельных, натурных экспериментов; статистическая обработка результатов. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и производственных условиях по стандартным и специальным методикам. По стандартным методикам исследовались: подвижность бетонной смеси; прочность бетона на осевое сжатие. По специальным методикам исследовались: факторы, повышающие жизнеспособность строительной смеси; прохождение бетонной смеси через щель; процесс заполнения бетонной смесью модельной полости; натурное заполнение реальной полости.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК 05.23.08 – Технология и организация строительства, а именно: содержанию специальности и следующим основным направлениям: п.2 «Разработка конкурентоспособных новых и совершенствование существующих

технологий и методов производства строительно-монтажных работ на основе применения высокопроизводительных средств механизации и автоматизации»; п.4 «Теоретические и экспериментальные исследования эффективности технологических процессов; выявление общих закономерностей путем моделирования и оптимизации организационно-технологических решений».

Практическое значение и реализация работы состоят в следующем:

– разработано новое рациональное технологическое решение метода бетонирования полостей под промышленными аппаратами с использованием промышленных бетононасосов с подачей бетонной смеси посредством бетоноводов в центр полости с нескольких сторон.

– технико-экономический эффект от внедрения предложенного технологического решения в сравнении с известными способами бетонирования полостей состоит в снижении трудозатрат до 63%.

– разработан «Технологический регламент по бетонированию полостей под промышленными аппаратами методом нагнетания», содержащий расчет производительности труда при внедрении технологии, утвержденный 26 ЦНИИ – филиал ОАО «31 ГПИСС» и принят к внедрению этой организацией.

Апробация и публикация работы.

Основные результаты исследований доложены на: I-ом и II-ом Международном конгрессе «Актуальные проблемы современного строительства» (СПбГАСУ 2013-2014 г.); 70-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета (СПбГАСУ, 2014 г.); международной заочной научно-практической конференции «Образование и наука: современное состояние и перспективы развития (Россия, Тамбов, 2013 г.); 68-ой международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современного строительства». Основные результаты диссертационного исследования были апробированы в ходе строительства экспериментальных моделей энергетических установок ОАО «КБСМ», что подтверждено актами внедрения разработанной технологии. В качестве ответственного исполнителя ООО «ТЕХНОАРМ+» автором разработаны

технологические указания по бетонированию полостей энергетической установки «БР», включенных в ПОС, разработанный АО «Атомпроект», что подтверждается актом внедрения.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 8-и печатных работах общим объемом 4,39 п.л. из них лично автором 3,33 п.л., в т. ч. 4 работы – в изданиях по перечню ВАК РФ.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 5-ти глав, основных выводов, списка литературы, включающего 120 наименований, 5-ти приложений. Общий объем диссертации составляет 200 страниц, в том числе 37 стр. приложений. В работе представлено 76 рисунков, 24 таблицы, 29 формул.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, показана научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе раскрыта актуальность научных исследований на основании анализа существующих способов и технологий бетонирования полостей под промышленными аппаратами, показаны их достоинства и недостатки, ограниченную область их применения. Произведен обзор бетононасосной техники, приведены требования к бетонным смесям, подлежащим нагнетанию. Выявлены особенности самоуплотняющихся смесей, систематизированы способы их диагностики. Сформулирована рабочая гипотеза исследования, представлена методика его проведения.

Во второй главе в результате сравнительного анализа известных способов бетонирования разработан новый метод бетонирования полостей под промышленными аппаратами методом нагнетания, а также приведено описание технологии и особенности применяемого оборудования. Описаны теоретические основы разработанной технологии. Разработан критерий оценки качества заполнения полости, построена функциональная зависимость этого критерия от семи переменных.

В третьей главе определены рациональные параметры разработанной технологии бетонирования полостей в ходе проведения модельных многофазовых

экспериментов. Выявлена необходимость разработки и установлен состав бетонной смеси для многоразового использования в модельных экспериментах с высокой жизнеспособностью.

В четвёртой главе описан натурный производственный эксперимент с использованием промышленного оборудования и применением рациональных параметров разработанной технологии. Доказана «верификация» разработанной технологии в условиях производства.

В пятой главе приведены основные положения и особенности предложенной нагнетательной технологии и определены её основные технико-экономические показатели. Разработаны базовые положения технологического регламента. Составлена классификация конструктивных типов полостей с рекомендациями по их бетонированию.

Автор выражает благодарность к.т.н., с.н.с., генеральному директору ООО «ТЕХНОАРМ+» С.Н. Панарину, который на протяжении всей работы над диссертацией делился профессиональным опытом и оказывал финансовую, техническую, методическую и моральную помощь при проведении экспериментальных работ.

Автор также выражает благодарность А.В. Соломатину, к.т.н., в.н.с. С.И. Веселовой и др. сотрудникам ООО «ТЕХНОАРМ+».

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ БЕТОНИРОВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ

1.1 Методы и способы бетонирования полостей под днищами промышленных аппаратов

Бетон является самым распространенным материалом применяемым в промышленном и гражданском строительстве. Наряду со сборным железобетоном, монолитные бетонные работы являются основным способом возведения зданий и сооружений различного назначения. При возведении крупногабаритных, уникальных и др. сооружений, монолитное бетонирование зачастую является единственно возможным вариантом производства работ. Данной проблемой занимались отечественные ученые и инженеры: Анпилов С.М.[3], Белов В.П.[17], Евдокимов Н.И.[40], Кирнев А.С.[53], Мацкевич А.Ф., Полтавцев С.И.[83], Сарычев В.С.[40], Хаютин Ю.Г.[108].

Завершающей операцией при монтаже крупногабаритного оборудования на фундамент, после выверки конструкции в проектное положение, является заполнение полости бетонной смесью между основанием конструкции и фундаментом под оборудование.

Решением задачи бетонирования полостей занимались следующие ученые и инженеры: Арабаджян И.Р.[4; 23; 24], Верстов В.В.[26; 27; 29; 30; 82], Панарин С.Н.[75; 76; 77], Романовский В.Н.[26; 27; 82; 87], Тишкин Д.Д.[26; 27; 82; 103], Хайкович Д.М.[29; 30; 107] и др.

Известен способ заполнения полостей бетоном под крупногабаритное промышленное оборудование с применением метода механического трамбования или зачеканивания[87]. Основной особенностью данного способа является порционная, механическая доставка бетонной смеси для заполнения технологической полости с использованием механических приспособлений. Уплотнение происходит за счёт механического, ручного «трамбования». Данный способ надёжен и прост, но может применяться только при малой площади

основания и в малоответственных конструкциях. Очевидные недостатки способа: большой объем ручного труда и низкая производительность.

Технология механического зачеканивания устройства подливки бетонной смеси под промышленное оборудование осуществляется следующим образом. По окончании установки оборудования на фундамент, выверки и надёжного закрепления на определённом расстоянии от станины смонтированного оборудования (Рис 1.1, поз. 2) устанавливают опалубку (поз. 1) с трёх сторон.

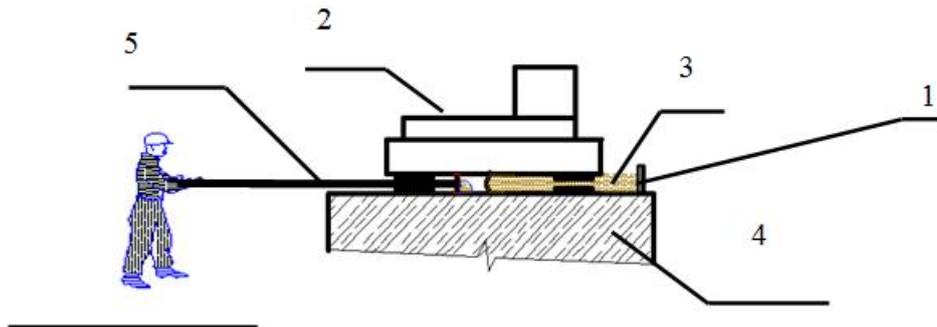


Рис. 1.1.бетонирование полости под промышленным оборудованием с применением метода механического зачеканивания: 1 – опалубка; 2 – оборудование; 3 – подливочная смесь; 4 – фундамент; 5 – ручной инструмент

Сторона, имеющая наиболее протяженность в плане не опалубливается. Затем приступают к порционной подаче бетонной смеси, заполняя в первую очередь места установки опалубки. По мере заполнения опалубки с противоположной стороны производят зачеканку технологического зазора бетонной смесью с применением специальных ручных инструментов. Бетонная смесь с осадкой конуса 5-9 см раскладывается на опорной части фундамента в виде призмы с размерами 150x50xLмм, где L длина фундамента. Затем используя скребок, доставляют порции бетонной смеси до места стыка с ранее уложенной. По окончании одного полного прохода зачеканки по всей длине фундамента производят шуровку выполненного стыка, тем самым уплотняя бетонную смесь. Работы проводят до полного заполнения бетонной смесью полости. Затем устанавливают опалубку с открытой стороны и также заполняют бетонной смесью. После по поверхности бетона проходят трамбовкой до появления, на поверхности уложенной бетонной смеси, цементного молока. Заключительной операцией является заглаживание поверхности, дополнительно произведя поверхностное уплотнение верхнего слоя бетонной смеси.

Преимущества метода следующие:

- отсутствие расслоения бетонной смеси по высоте;
- работы можно выполнять в труднодоступных местах, где нет возможности подъезда тяжёлой строительной техники.

Недостатки рассматриваемой технологии следующие:

- высокая доля ручного труда;
- низкая производительность;
- ограничения по площади полости.

Данный метод применяется в основном для бетонирования полостей под технологическим оборудованием имеющие небольшие размеры в плане до 1,0х2,0 м, или как дополнительные меры при устройстве подливок способами вибрационных воздействий на бетонную смесь.

Первым нормативным обобщающим документом, с рекомендуемым способом заполнения полостей под оборудованием, являлись «Указания по бесподкладочному монтажу оборудования химической промышленности»[24] изданным Министерством монтажных и специальных строительных работ СССР в 1968 году.

Указания распространялись на монтаж и подливку бетонной смеси под оборудование, применяемое в химической промышленности: компрессоры, насосы, центрифуги, фильтры, и т.п., за исключением аппаратов колонного и башенного типа, требующих закрепления анкерными болтами после установки на фундаменты до снятия такелажных средств.

Эти указания служили руководством для проектных, монтажных и строительных организаций, а также для изготовителей оборудования в части относящихся к ним требований (Рис. 1.2).

В указании рекомендуются следующие параметры и технологические требования:

- Применять при бетонировании жесткие бетонные смеси;
- Высота опалубки должна превышать уровень основания аппарата как минимум на 40 мм;
- Вибролоток по ширине должен не превышать 3м;

- Вибрирование прекращается только после появления бетонной смеси с противоположной стороны основания;
- При больших площадях подливки, в центральной часть основания устраиваются отверстия для штыковки бетонной смеси.

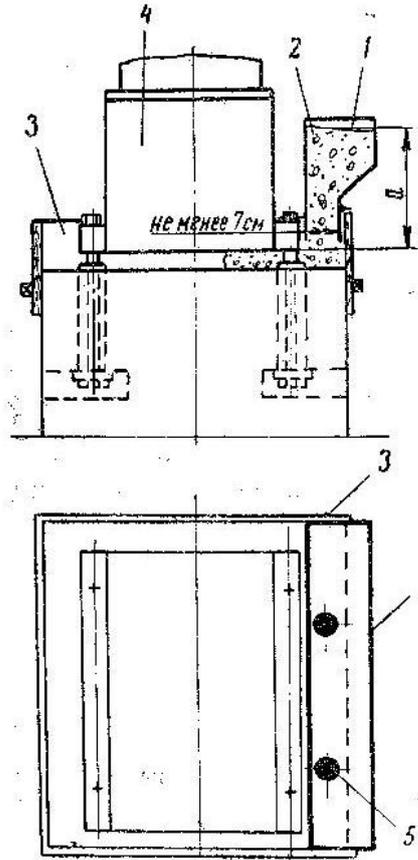


Рис. 1.2 Вибрационная подливка (пример) [24]: 1 — лоток-накопитель (жестяной или деревянный); 2 — бетонная смесь; 3 — опалубка; 4 — монтируемое оборудование; 5 — вибратор.

Как видно из данного перечня требований, многие параметры указаны обобщенно и не всегда применимы к конкретному объекту монтажа и бетонирования [76]. Так например применение жестких бетонных смесей накладывает ограничение на размеры днищ и требует уточнения. Во многих случаях устройство отверстий в основании просто не допустимо, поэтому необходимо применение иных технологических приемов. В настоящий момент МСН 188-68 не является действующим обязательным нормативным документом [72], однако в ВСН 361-85 [31] в разделе «5». Требования к подливке оборудования» перечислены ряд требований, которые были указаны в МСН 188-68. В СНиП 3.05.05-84 указано в п. 3.14: «Подливка оборудования должна быть

выполнена строительной организацией не позднее 48 ч после письменного извещения монтажной организации в присутствии ее представителя»[94]. На основании ВСН и СНиП был выпущен сборник ЕНиР Е4-1[44], где в § Е4-1-51 представлены указания по подливке бетонной смеси под оборудование, в которых указан: состав работ, состав звена, нормы времени и расценки на 1 м³ бетона в деле.

Технология устройства подливки под оборудование с применением вибрационного воздействия на бетонную смесь является более прогрессивной по отношению к методу механического зачеканивания. Ниже представлена технологическая схема способа подливки бетонной смеси под крупногабаритное промышленное оборудование на заключительном этапе его монтажа с применением дополнительного вибрирования.

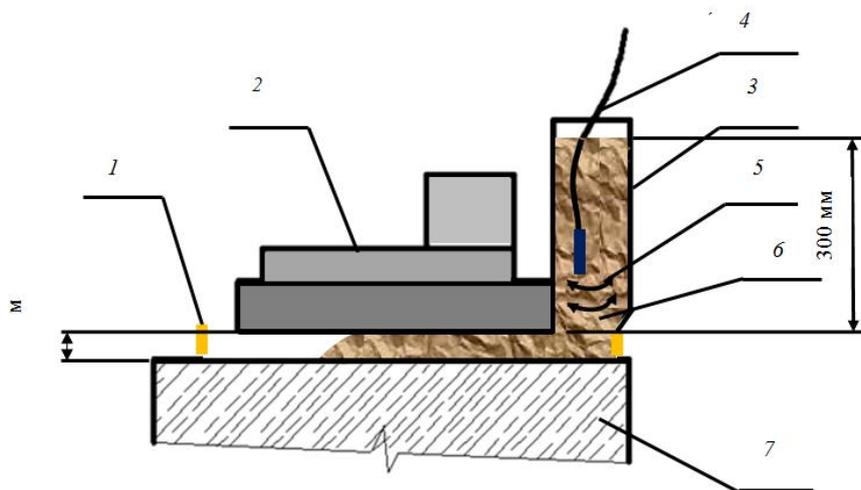


Рис. 1.3 Устройство бетонной подливки под крупногабаритное промышленное оборудование с применением способа вибрационного воздействия: 1 – опалубка; 2 – оборудование; 3 – лоток-накопитель; 4 – вибратор; 5 – подливочная смесь; 6 – фундамент

Следующим этапом развития технологии бетонирования полостей являлось способ подливки бетонной смеси под технологическое оборудование на заключительном этапе его монтажа[27], включающий установку опалубки по контуру фундамента и лотка-накопителя с входящими в его состав погружными вибраторами, вибрационную обработку бетонной смеси в технологическом зазоре между станиной оборудования и фундаментом ведут на всем пути ее движения от лотка-накопителя до виброобоймы посредством стержней, размещенных по всей площади подливки, торцы которых закреплены в жесткой виброобойме,

расположенной на противоположной от лотка-накопителя стороне оборудования. Способ разработан коллективом соавторов Верстовым В.В., Тишкиным Д.Д., Романовским В.К.[82].

Устройство подливки под оборудование (Рис. 1.4) производится с применением дополнительного виброоргана, располагаемого в объёме подливочного пространства и представляет собой ряд стержней \varnothing 8-12 мм (поз. 5), располагаемых с шагом 200-400мм перпендикулярно длинной стороне оборудования, при этом торцы стержней связывают между собой обоймой с закрепленным на ней вибратором продольных колебаний (поз. 9).

Способ подливки осуществляется следующим образом. На определённом расстоянии от станины смонтированного и выверенного оборудования собирают опалубку. Затем по всей площади пространства между фундаментом и оборудованием размещают арматурные стержни с шагом 200-400 мм. Далее на одной из сторон фундамента монтируют приёмный лоток – накопитель с опорой на фундамент с входящими в его состав глубинными вибраторами. На противоположной стороне от лотка соединяют торцы стержней с виброобоймой.

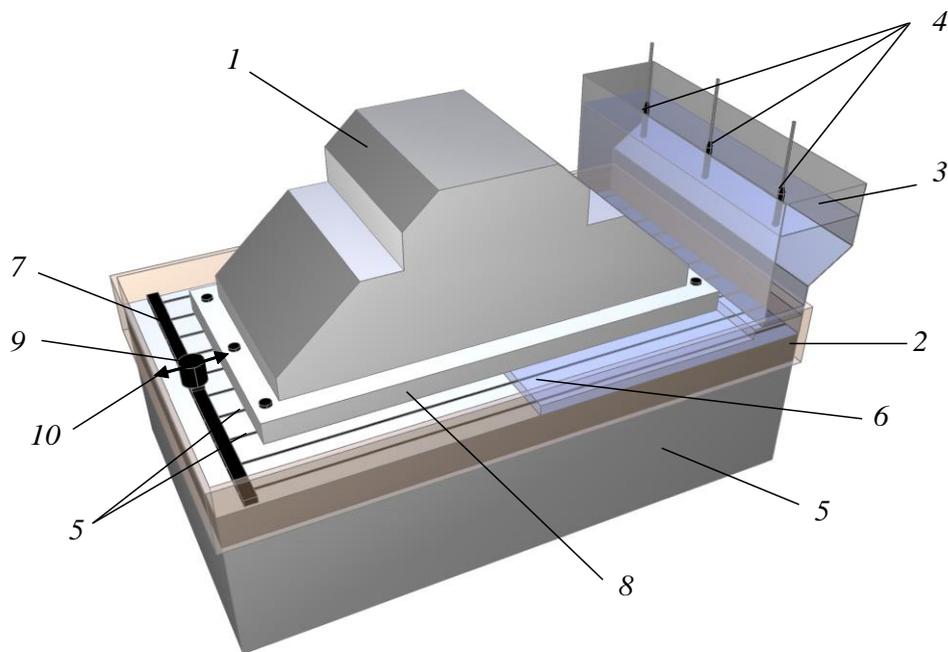


Рис. 1.4 Технологическая схема устройства подливки под оборудование при дополнительном вибрационном воздействии на бетонную смесь: 1 – оборудование; 2 – опалубка; 3 – лоток-накопитель; 4 – основной вибратор; 5 –металлические стержни; 6 – бетонная смесь подливки; 7 – виброобойма; 8 – станина оборудования; 9 – дополнительный вибратор; 10 – направление колебаний; 11 – фундамент

С виброобоймой прочно соединяют дополнительный вибратор, который через неё сообщает стержням продольные колебания в плоскости параллельной горизонтальной поверхности фундамента. Затем начинают подачу бетонной смеси в лоток-накопитель с одновременным включением глубинных вибраторов в лотке, по начальному моменту продвижения бетонной смеси в пространстве между поверхностью фундамента и станиной оборудования включают дополнительный вибратор, расположенный на виброобойме. Подачу прекращают при появлении бетонной смеси на противоположной от лотка стороне технологического зазора, при этом отметка поверхности бетонной смеси должна быть выше опорной части оборудования на толщину станины оборудования. Затем отключают вибратор, снимают обойму, демонтируют лоток – накопитель с погружными вибраторами, стержни оставляют в теле бетона подливки.

Данный способ обладает следующими преимуществами перед описанными выше:

- возможность унификации порядка действий исполнителей для достижения качественного выполнения подливки под оборудование;
- отсутствие расслоения укладываемой бетонной смеси;
- обеспечение высокого качества поверхности бетонного камня, после демонтажа опалубки (отсутствие на поверхности бетона раковин, пор, и др.);
- повышение производительности работ за счёт уменьшения времени заполнения технологического зазора бетонной смесью вследствие вибрационной обработки всего объёма бетонной смеси в технологическом зазоре на всем пути ее движения в зазоре;
- равномерное распределение плотности бетонной смеси по всей площади подливки.

Недостатками указанного способа являются ограниченные технологические возможности, т.е. низкая скорость заполнения бетонной смеси в зазоре между днищем оборудования и фундаментом, по сравнению с принудительной подачей бетонной смеси, необходимость изготовления нестандартного оборудования, таких как вибралоток и виброобойма, зачастую невозможность подачи бетонной

смеси с нескольких сторон в связи с опасностью образования воздушных полостей, применение малоподвижных смесей, требующих применения дополнительного вибрационного воздействия, ограничения полости по высоте полости, невозможность применения способа при ограничениях воздействий вибрации на смонтированное оборудование.

На данном этапе развития машиностроительной, химической, энергетической и других отраслей промышленности происходит непрерывное увеличение единичной мощности агрегатов, приводящей к необходимости монтажа укрупненных узлов, имеющих значительную площадь опорных плоскостей. Помимо этого, зачастую такие аппараты имеют не плоскостную поверхность, различные технологические включения (трубопроводы систем охлаждения, разогрева, систем мониторинга и т.п.). Это приводит к тому, что величины зазора между фундаментом и основанием оборудования *превышают нормативные* ([84]50-80мм п. 6.18). Существующие способы бетонирования полостей не способны обеспечить качественное заполнение бетонной смесью таких полостей.

Для решения этих задач установлены следующие пути ее решения:

- бетонирование полостей методом нагнетания в комплексе с рациональными технологическими параметрами;
- в качестве бетонной смеси применять самоуплотняющиеся;
- уменьшение трудоемкости работ за счет применения типовой технологической оснастки и оборудования.

1.1.1 Способы подачи бетонной смеси в конструкцию

В дальнейшем для разработки новой технологии бетонирования полостей под днищами промышленных аппаратов были рассмотрены способы подачи бетонной смеси в конструкцию и проведен их сравнительный анализ.

В зависимости от вида конструкции, параметров бетонной смеси и объема работ, технических возможностей применяют следующие технологии подачи бетонной смеси в опалубку бетонируемой конструкции:

1. Подача смеси автотранспортом непосредственно в конструкцию с уровня стоянки или со специальных бетоновозных мостов или эстакад.

Достоинства:

- простота (нет промежуточной перегрузки, не требуется кранов);
- бетонная смесь любой подвижности с заполнителем любой крупности[18].

Недостатки:

- ограниченная область применения, применимы для возводимых ниже отметки лотка автобетоновоза (полы промышленных зданий, дороги, площадки и пр.);
- большие затраты при использовании эстакад.

2. Подача бетонолитной бадьей с помощью грузоподъемного оборудования.

Достоинства:

- смесь любых параметров;
- возможность довольно точного дозирования подачи смеси;
- большое расстояние подачи: стреловыми кранами до 30 м, башенными кранами до 60 м[14].

Недостатки:

- дополнительная перегрузка и дополнительное время для укладки смеси;
- наличие "мертвых" зон в труднодоступных конструкциях.

На объектах промышленных и гражданских сооружений в настоящее время является одним из основных способов подачи бетонной смеси на рабочее место.

3. Подача ленточными конвейерами.

Используются стационарные или мобильные системы на базе автомобиля или трактора, снабженные рабочими стрелами длиной 10 - 20 м, по которым движется транспортерная лента с бетонной смесью.

Достоинства:

- не требуется крановое оборудование;

- высокая производительность (непрерывная подача).

Недостатки:

- ограничения по подвижности (до П2);
- угол подъема транспортерной стрелы не более 15°;
- эффективна лишь при большом объеме работ. Применяется при бетонировании конструкций нулевого цикла: фундаментов, стен подвала, полов, перекрытий и т.п., а также надземной части не выше 4-6 м.

4. Подача бетонной смеси бетононасосами.

Используются стационарные или мобильные комплексы на базе автомобиля. Бетонная смесь подается по стальным трубам диаметром 100-200 мм с гибким наконечником непосредственно в конструкцию.

В [88] укладку бетонной смеси с помощью бетононасосов рекомендуют производить при интенсивности бетонирования конструкций не менее 5 м³/ч, а также в стесненных условиях и в местах, недоступных другими средствами механизации.

Достоинства:

- высокая производительность (непрерывность), не требуется кранов, отсутствие "мертвых зон" (подача практически в любую точку);
- подача бетонной смеси по трубам под давлением улучшает ее однородность и удобоукладываемость. При этом частично уменьшается объем пустот и улучшается обволакивание частиц заполнителя цементной пленкой, что приводит к некоторому повышению прочности бетона (на 10 - 20 %)[88];
- применение бетоноводов малого диаметра (100 - 125 мм) и складывающихся распределительных стрел позволяет полностью механизировать наиболее трудоемкие процессы по подаче и распределению бетонной смеси и снизить трудозатраты до минимума (в 3 - 4 раза по сравнению с крановой укладкой)[52].

Недостатки:

- ограничения по параметрам бетонной смеси: ОК не менее 8 см; крупность щебня не более 40 мм;
- значительные затраты на промывку трубопроводов.

Из рассмотренных способов видно, что наиболее применимым при бетонировании труднодоступных мест, к которым можно отнести полость под промышленным аппаратом, является подача бетонной смеси бетононасосной техникой.

1.2 Сравнительный анализ бетононасосной техники

Подробнее рассмотрим типы бетононасосов. Бетононасосы делят по следующим критериям[5]:

1. По режиму работы: с непрерывной и периодической подачей строительной смеси (шланговые и поршневые соответственно);
2. По типу привода: гидравлические и механические;
3. По исполнению: стационарные и автомобильные;
4. По количеству цилиндров: одно- и двухцилиндровые;
5. По виду двигателя: дизельные и электрические;
6. По виду рабочей жидкости, которая приводит поршни в движение: масло- и гидравлические;
7. По типу подачи бетона: вакуумные и поршневые.

Для выбора бетононасоса по режиму работы, проведем сравнительный анализ поршневого и шлангового роторного бетононасосов.

Поршневые бетононасосы

Поршневая бетононасосная техника является самым распространенным типом бетононасоса в РФ, она обеспечивает подачу смеси на высоту до 250 метров. Максимальная производительность техники данного типа - 200 куб. м/ч[85].

Поршневой бетононасос работает по следующему принципу:

- бетонная смесь подается в приемный бункер. Для сохранения ее однородности и предотвращения расслоения, смесь постоянно перемешивается;
- затем при помощи поршней, совершающих возвратно-поступательные движения, смесь подается в бетоновод;
- благодаря особенностям конструкции бетононасоса движение клапанов распределительного механизма и поршней синхронизируются.

Следует понимать, что поршневой бетононасос в процессе эксплуатации подвергается интенсивному износу[45]. Это связано с тем, что бетонная смесь может попадать между трущимися механизмами. Поступление раствора в полость цилиндра происходит в момент, когда поршень насоса выполняет всасывающее движение. Выталкивание смеси в трубопровод, напротив, происходит при выполнении нагнетательного движения. Подача смеси в бетононасосе поршневого типа осуществляется небольшими рывками[16].

Гидравлический поршневой бетононасос характеризуется более длительным сроком службы, техника данного типа обеспечивает практически неизменную скорость подачи. Плавное и равномерное поступление бетонной смеси объясняется большим ходом поршня, который колеблется от 1500 до 2500 мм[39]. Помимо этого гидравлический поршневой агрегат создает более высокое давление, по сравнению с роторным бетононасосом, благодаря чему высота и дальность подачи бетонной смеси существенно возрастают.

Роторные бетононасосы

Изначально роторные насосы нашли свое применение в области медицины, химической и др. областях промышленности благодаря своей простоте, в связи с тем, что перекачиваемая среда не имеет соприкосновения с движущимися частями насоса.

Конструкция роторных насосов позволяет использовать их с очень широким ассортиментом применений[69; 109]:

- от очень летучих до очень вязких жидкостей;
- от смазочных масел до сухих жидкостей, которые могут быть причиной заклинивания движущихся частей;

- жидкости с содержанием абразивных частиц;
- агрессивные и коррозионные жидкости;
- пищевые продукты.

Такие насосы имеют широкий ассортимент применений[21], включая следующие (таблица 1.1).

Таблица 1.1 Основные области применения роторных насосов

Область промышленности	Основные области применения		
Нефтехимическая промышленность	Легкие и тяжелые углеводороды	Смазочное масло	Битум и гудрон
	Бензол и толуол	Бензин	Фенол
	Дизель	Нефтяное топливо	Сырая нефть
	Технологические жидкости	Нефтехимические продукты	Все виды масел
Химическая промышленность	Кислоты и концентрированные кислоты	Растворители	Смазочные масла
	Алифатические и серные кислоты	Аддитивы	Воск
	Глицерин	Латекс	Полимасла
	Клеящие вещества	Щелочные растворы	Эмульсии
	Мыла и моющие средства	Каустическая сода	Растворители
	Жидкая сера	Суспензия каучука	Парафин
	Пластификаторы	Крахмалы	Буровые растворы на масляной основе
	Полимеры / Волокнистые суспензии	Полиэстер	Смолы
Морская промышленность и кораблестроение	Перекачка танкерных жидкостей	Нефтяное топливо	Дизель
	Трюмная вода	Буровой раствор, шлам, дубильный сок	Морская вода
	Масло вторичного использования (переработанное)	Отработавшее масло	Сточные воды
	Погрузка и разгрузка грузов	Технические жидкости и вода	Отходы
Нефтегазовая (вспомогательное насосное оборудование)	Химические продукты	Все типы масел	Сырая нефть
	Легкие и тяжелые углеводороды	Битум и гудрон	Буровые растворы
Целлюлозно-бумажная	Кислая вода	Изоцианат	Каустическая сода
	Буровой раствор	Некоторые технологические жидкости	Крахмал
	Целлюлоза / Волокнистые суспензии	Клеящие вещества	Нефтяное топливо

Область промышленности	Основные области применения		
Общая промышленность	Красящие вещества, пигментирующие пасты и чернила	Загустители	Аддитивы
	Техническая вода	Щёлочь	Сточные воды
	Эмали и краски	Эмульсии	Известь
Пищевая и фармацевтическая промышленность	Растительные и животные масла	Фруктовые соки, пасты, джем	Сиропы и меласса
	Животные жиры	Лецитин	Крем
	Алкоголь	Шоколад	Карамель и фадж
	Соусы и тесто	Молочные продукты	Вина

В дальнейшем роторные насосы нашли свое применение и в строительной промышленности, в частности для перекачки бетонной смеси. Благодаря особенностям своей конструкции, роторный бетононасос способствует равномерной подаче бетонных смесей, в том числе малоподвижных. Техника данного типа отличается более низким уровнем шума работающего двигателя.

Принцип действия[16]:

- перемещение бетонной смеси осуществляется посредством ротора, на внутренней части которого предусмотрены специальные толкающе-прижимные ролики;

- в корпусе бетононасоса имеется обрезиненное отверстие с расположенным в нем армированным шлангом. Диаметр шланга не превышает 125 мм;

- по мере того как ротор вращается, насосные прорезиненные ролики проталкивают бетонную смесь от бункера к трубопроводу.

В роторно-шланговом бетононасосе [90; 118] с гидравлическим приводом два обрезиненных ролика 3(Рис. 1,5) ротора 4 прокатываются по участку эластичного шланга 1, заключенному в полукольцевой насосной камере 2, и выдавливают из него бетонную смесь в напорный рукав 5, соединенный с бетоноводом 6. Во всасывающем рукаве 9 за счет упругого восстановления формы шлангом создается разрежение, необходимое для засасывания бетонной смеси из приемного бункера 7 с лопастным смесителем 8, непрерывно перемешивающим смесь. Современные роторно-шланговые бетононасосы имеют производительность 3...60 м³/ч и обеспечивают подачу бетонной смеси до 300 м по горизонтали и до 70 м по вертикали.

Если в роторном бетононасосе возникает пробка, она удаляется посредством запуска двигателя в реверсном режиме. Расходные материалы заменяются достаточно просто. Наиболее важный недостаток бетононасосов данного типа - недолгий срок службы армированного шланга. В процессе эксплуатации твердые строительные материалы быстро и легко его повреждают. В то же время роторный бетононасос отличается низкой стоимостью ремонта и технического обслуживания.

Еще одним преимуществом роторных насосов является *плавная регулировка скорости подачи смеси* путем регулировки оборотов двигателя, тем самым достигается и значительный диапазон регулировки производительности бетононасоса, сохраняя при этом плавность подачи смеси. Помимо этого, роторные бетононасосы имеют небольшие габаритные размеры, что позволяет их применять в стеснённых условиях (например в производственном цехе).

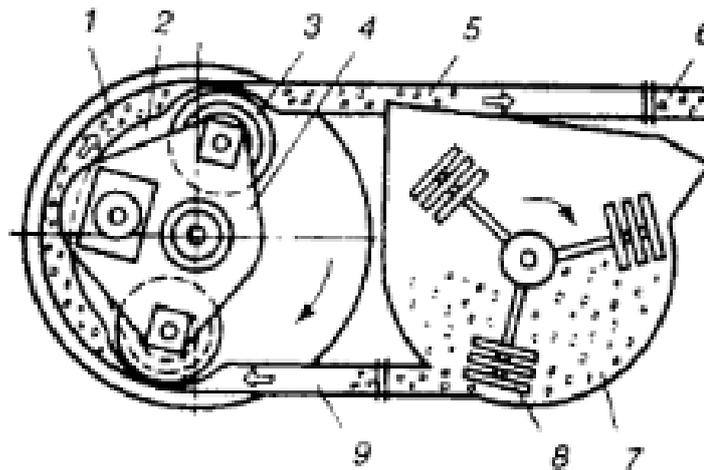


Рис.1.5 Роторно-шланговый бетононасос: 1-эластичный шланг; 2 – насосная камера; 3 – ролик; 4 – ротор; 5 – напорный рукав; 6 – бетоновод; 7 – приемный бункер; 8 – лопастный смеситель; 9 – всасывающий рукав.

Принимая во внимание специфику работы и технические характеристики вышеописанных моделей роторных и поршневых бетононасосов, приходится констатировать, что в России наибольшей популярностью пользуются гидравлические поршневые агрегаты. Несмотря на то, что ремонт роторного бетононасоса обходится его владельцу сравнительно недорого, гидравлический поршневой бетононасос является более износостойчивым, надежным и гораздо более производительным.

Однако при заполнении замкнутых объемов необходимо обеспечить равномерность скорости подачи бетонной смеси на протяжении всего цикла бетонирования, таким требованием отвечают насосы с непрерывной подачей - шланговые роторные бетононасосы. Хотя выпуск таких бетононасосов ограничен, в основном такие бетононасосы распространены в Японии и беспоршневая система устанавливается на шасси на базе автомобилей японского производства, в Европейской части РФ они имеются в ограниченном количестве.

В Российской Федерации используются исключительно импортная бетононасосная техника различных производителей. На сегодняшний день это порядка пятнадцати компаний. Если еще три года назад это были преимущественно германские и итальянские фирмы, то в последние год-два происходит завоевание российского рынка бетононасосов азиатскими производителями. За прошлый год их доля в импорте бетононасосов в Российскую Федерацию составила 65%. Компании лидеры – южнокорейский производитель «KCPHeavyIndustriesCo. Ltd»; бывшая итальянская, а теперь китайская компания «Cifa», китайская «Zoomlion» и компания «Putzmeister» контрольный пакет которой принадлежит китайскому производителю специальной техники «Sany».

Все перечисленные производители применяют поршневую систему нагнетания. Характеристики бетононасосов этих производителей приведены в Таблице 1.2. Данные взяты с официальных каталогов фирм производителей[97; 98; 99].

Перечисленные производители не единственные предприятия, осуществляющие поставки этого вида техники в Российскую Федерацию. Стоит отметить также таких известных производителей как компании: Schwing, Waitzinger, Mecbo, Elba, DongYang и другие. Характеристики бетононасосов этих фирм сопоставимы с приведенными в таблице.

Приведенная в таблицах характеристика - относительный диапазон регулирования производительности бетононасоса, рассчитывалась как соотношение разности регулируемых значений к максимальной производительности рассматриваемой модели.

$$ОД = \frac{(П_{\max} - П_{\min})}{П_{\max}} \times 100, [\%] \quad (1.1)$$

Пример расчета:

Автобетононасос Cifa K62HXRZ Carbotech имеет следующие характеристики:

- Максимальная теоретическая производительность (P_{\max}), м³- 179;
- Минимальная теоретическая возможная подача (P_{\min}), м³- 105.

Из характеристик производительности находим диапазон регулирования:

$$\text{Диапазон регулирования (Д), м}^3 = 179 - 105 = 74.$$

Полученная характеристика не в полной мере отражает возможность регулировки рассматриваемого аппарата, более «точной» характеристикой будет являться рассматриваемый диапазон к максимальной возможной производительности бетононасоса.

$$\text{Относительный диапазон регулирования(ОД), \%} = (74/179) \times 100 = 41\%$$

Таблица 1.2

Характеристики поршневых бетононасосов

Производитель	Тип бетононасоса				ОД, %
	Автомобильный		Стационарный		
	Производительность, м ³ /ч	Высота подачи, м	Производительность, м ³ /ч	Высота подачи, м	
	Мин/макс				
КСР	70/170	17/65	60/90	-	32
Cifa	87/179	24/61	30/87	100/220	41
Zoomlion	90/200	38/56	49/80	90/133	40
Putzmeister	90/200	20/64	4*/83	350	47

*Растворонасос, способный подавать бетонный смеси с макс. фракцией 16мм.

Как было упомянуто выше, наличие роторных бетононасосов в РФ ограничено, а количество официальной информации по ним минимально, поэтому данные по основным характеристикам показанных в таблице 1.3 автором были взяты с паспортов владельцев бетононасосов[49].

Таблица 1.3

Характеристики роторных бетононасосов

Производитель	Тип бетононасоса				ОД, %
	Автомобильный		Стационарный		
	Производительность, м ³ /ч	Высота подачи, м	Производительность, м ³ /ч	Высота подачи, м	
	Мин/макс				
HINO Ranger	3/35	14/21	2-20	-	91
MITSUBISHI Canter	5/30	14/21	-	-	83
DCP	3/37	18	-	-	91
ISUZU Vector	3/60	15/70	-	-	91

Как видно из приведенных выше таблиц относительный диапазон регулирования производительности бетононасоса значительно выше у насосов роторного типа, что является несомненным преимуществом при производстве

бетонирования на особо ответственных конструкциях. Наличие возможности подавать смесь с минимальной скоростью также является существенным преимуществом при бетонировании полостей под днищами промышленных аппаратов.

1.3 Требования к бетонным смесям подаваемые бетононасосом и обоснование выбора самоуплотняющихся бетонных смесей

Бетонные смеси, предназначенные для транспортирования по трубопроводам, должны обладать повышенной связностью, однородной структурой, *удобоперекачиваемостью* и обеспечивать получение требуемых физико-механических характеристик бетона (прочности при сжатии, водонепроницаемости, морозостойкости и т.д.).

Под *удобоперекачиваемостью* бетонной смеси подразумевается[88] способность транспортирования по трубопроводу на предельные расстояния без расслоения и образования пробок под воздействием внешних сил (давления, создаваемого при поступательном движении поршня бетононасоса).

Состав бетонной смеси должен быть подобран таким образом, чтобы при ее движении в бетоноводе постоянно сохранялся пристенный смазочный слой, зерна заполнителей не соприкасались между собой, а давление передавалось по жидкой фазе. Для выполнения этих требований необходимо, чтобы объем цементного теста превышал объем пустот смеси крупных и мелких заполнителей не менее чем на 40 л/м³. Такая смесь, как правило, имеет одновременно и высокую удобоукладываемость.

В качестве крупного заполнителя для бетонной смеси рекомендуется применять гравий или щебень неостроконечной формы. Максимальный размер зерен крупного заполнителя должен быть не более одной трети внутреннего диаметра бетоновода при использовании щебня и 0,4 - при использовании гравия. Наличие зерен плоской или игловатой формы более 5 % по массе влечет за собой

ухудшение удобоперекачиваемости бетонной смеси и ускоренный износ деталей бетононасоса[112].

Подбор состава бетонной смеси, подаваемой по трубам должен осуществляться лабораторией строительства. Для определения оптимального состава задаются несколькими соотношениям между мелким и крупным заполнителями, при которых изготавливается бетонная смесь с минимальным расходом цемента и осадкой конуса.

Увеличение расхода цемента сверх нормативного при приготовлении бетонной смеси с целью улучшения ее удобоперекачиваемости недопустимо. При тщательно подобранном зерновом составе крупного и мелкого заполнителей количество цемента в бетонной смеси, подаваемой бетононасосами, не отличается от расхода цемента для приготовления смеси такой же подвижности, укладываемой другими механизмами.

Бетонная смесь, имеющая межзерновую пустотность заполнителя большую, чем объем цементного теста, перекачиванию не поддается[66].

При определении расхода цемента следует исходить из условия необходимости обеспечения требуемого класса бетона и вязко-пластичных свойств бетонной смеси. Последнее достигается оптимальным содержанием в бетонной смеси цемента и пылевидных частиц песка размером до 0,14 мм. Их общая масса должна быть 350 - 410 кг в 1 м³ смеси при использовании в качестве крупного заполнителя гравия и 380 - 430 кг - при использовании щебня. Расход цемента должен быть не менее 300 кг/м³ бетонной смеси. Увеличение содержания цемента и пылевидных частиц более 600 кг/м³ резко повышает вязкость смеси и соответственно сопротивления ее движению в бетоноводе.

Песок для бетонных смесей, подаваемых с помощью бетононасосов, должен содержать до 3 - 7 % пылевидных частиц крупностью менее 0,14 мм и 15 - 20 % мелких частиц крупностью менее 0,31 мм (Рис. 1.6). При отсутствии или недостатке в природном или дробленном песке его наиболее мелкой фракции последняя заменяется каменной или кварцевой мукой, золой-уносом и т.д. Однако повышение содержания тонкомолотых добавок более 50 % от массы цемента не

рекомендуется, так как в этом случае бетонная смесь за счет ее отошения плохо удерживает воду и может легко расслаиваться.

Обеспечение удобоперекачиваемости бетонной смеси в случаях, когда возможная комбинация подбора ее составляющих не приводит к необходимым результатам, может быть достигнуто за счет применения высокоэффективных пластифицирующих добавок.

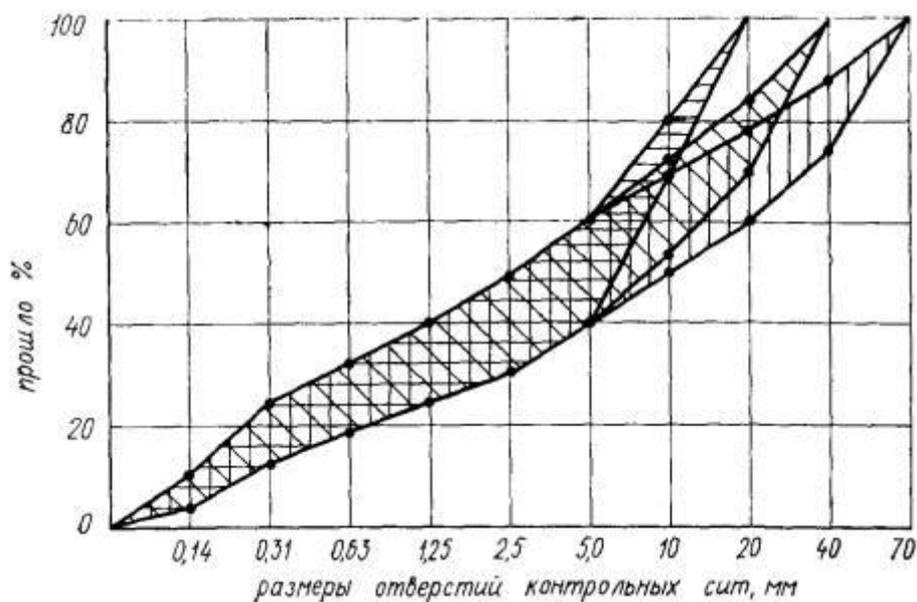


Рис. 1.6 График рекомендуемого гранулометрического состава заполнителей бетонных смесей, перекачиваемых по трубопроводу

При дозировке воздухововлекающих и микрогазовыделяющих веществ следует учитывать, что большое количество воздушных пузырьков в бетонной смеси может привести к отрицательным последствиям при ее перекачивании. Причина заключается в том, что общее количество воздушных пор в бетонной смеси действует как амортизирующая воздушная подушка, которая сжимается под воздействием давления, возникающего в трубопроводе [120].

При приготовлении бетонной смеси необходимо обеспечить точность дозировки материалов в соответствии с заданным составом бетона, постоянство ее подвижности и гранулометрического состава заполнителей. Продолжительность перемешивания должна быть достаточной для получения однородной структуры бетонной смеси.

Для перекачивания наиболее приемлемыми являются бетонные смеси, обладающие *самоуплотняющимися свойствами*. При этом требования к таким смесям более «жестки» по сравнению с требованиями к смесям под перекачку бетононасосами[11]. Учитывая специфику определенных аппаратов, в которых недопустимы негативные воздействия вибрации, применение самоуплотняющихся бетонных смесей (СУБС) является наиболее актуальным. Следующий раздел работы будет посвящен описанию требований, а также систематизации методик определения свойств СУБС.

1.3.1 Требования к СУБС

Самоуплотняющийся бетон – это бетон, который без воздействия на него дополнительной внешней уплотняющей энергии самостоятельно под воздействием собственной массы течёт, освобождается от содержащегося в нём воздуха и полностью заполняет пространство между арматурными стержнями и опалубкой[70].

Нормативно самоуплотняющийся бетон был закреплён «Немецким комитетом по железобетону» в 2003 году с выпуском регламентирующего нормативного документа «DAfStb - RichtlinieSelbsverdichtenderBeton (SVB-Richtlinie)». В этом документе изложены термины касающиеся самоуплотняющегося бетона (СУБ) и связи с другими европейскими нормативными документами, а также методы испытаний СУБ. Тем самым СУБ официально разрешён к применению в Европейских странах, без каких либо дополнительных согласований и допусков. В 2008 г. был принят Европейский стандарт EN 206-9, установивший требования к реологическим свойствам СУБС (в дополнение к тем, которые определял основной стандарт на бетоны EN 206-1 «Бетон. Технические требования, производство и контроль качества» в редакции 2000 г.)[41]. Европейский стандарт EN 206:2011[42] определяет СУБ как «способные в пластическом состоянии течь и уплотняться под действием собственного веса, заполнять опалубку с установленной арматурой, каналы, боковые полости и т. д., сохраняя при этом однородность смеси.

В отечественных стандартах самоуплотняющаяся смесь косвенно закреплена в ГОСТ 7473-2010 «Смеси бетонные. Технические условия» где указываются испытания бетонных смесей на расплыв конуса (P1-P6)[34], при этом описывая требования и методики национальный стандарт ссылается на «Европейский-ЕН 12350-5:2000 Испытание бетонной смеси - Часть 5: Испытание на расплыв».

Состав СУБ

Состав сырьевых материалов бетонной смеси для приготовления СУБ осуществляется, как правило, по методу, разработанному Окамурой[114; 116]. Основой концепции данной методики является повышение доли мелких пылевидных частиц, а разрабатываемые рецептуры базируются на следующих граничных условиях:

1. насыпной объём заполнителя крупной фракции должен быть не более 50% объёма бетона;
2. объём мелкого заполнителя в растворной части должен составлять порядка 40%.

Стандартный состав СУБ приведен в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Базовый состав СУБ	
Компонент	Количество, кг/м ³
Цемент	380
Зольная пыль или молотый известняк	170
Вода	170-180
Песок (фракция 0-2)	650
Мелкий щебень (2-16)	950
Пластификатор, % M _ц	1-2

В своём большинстве свойства СУБа во многом совпадают со свойствами обычного бетона. СУБ может быть разработан в качестве обычного или высокопрочного бетона[113; 117].

Преимущества СУБа по сравнению с традиционными видами бетона:

- отсутствие дефектов в бетоне, возможных при уплотнении бетонной смеси;
- возможность применения менее массивной конструкции опалубки (из-за отсутствия процесса вибрирования бетона на опалубку не

воздействуют дополнительные динамические и статические нагрузки) различной формы и структуры;

- упрощения работ по бетонированию (отсутствие работ по уплотнению бетонной смеси);
- плотное сцепление арматуры с бетоном и возможность увеличения процента армирования за счет проникновения бетона в самые труднодоступные места;
- возможности подачи бетона непосредственно через опалубку, например, через отверстие в нижней её части.

Анализ оценки экономичности СУБ на основе европейского применения этого вида бетона показал, что благодаря тому, что отпадает необходимость в уплотнении бетонной смеси, экономия средств при бетонировании может составлять от 3 до 6 Евро за м³[105]. Помимо этого, в отдельных конструкциях (колонны, опоры и др.) происходят частые перерывы подачи бетонной смеси, связанные с ее уплотнением, а при использовании СУБ такие перерывы отсутствуют.

Проведенный анализ свойств СУБ показал, что такой бетон наиболее целесообразно применять:

1. при бетонировании на большой высоте или на воде, когда процесс уплотнения бетонной смеси нецелесообразен и небезопасен для рабочих;
2. при бетонировании густоармированных и сложных конструкций, где обычная бетонная смесь не может проникнуть в места, где уплотнение ее невозможно, что ведёт впоследствии к преждевременной коррозии арматуры;
3. при бетонировании конструкций сложной геометрической формы, а также конструкций, к которым предъявляются особые требования по качеству наружной поверхности бетона;
4. при бетонировании опор мостов, плотин, туннелей и других труднодоступных сооружений, где непрерывно необходимо подавать большое количество бетонной смеси, а рабочий процесс затруднен и небезопасен.

Проектирование составов СУБ ориентировано обычно на обеспечение его реологических характеристик в пластической стадии. При этом показатели прочности на сжатие выполняются автоматически благодаря технологическому

ограничению величины водо-вяжущего отношения (как правило, не выше 0,5–0,55) и достаточно высокому расходу цемента на единицу объема бетона. Американский стандарт ACI 237R регламентирует расход цемента принимать не ниже 386 кг/м³, а рекомендации Европейской организации по готовым бетонным смесям (ERMCO) — не ниже 380 кг/м³.

Новые заводы по производству сборного железобетона в США в основном ориентированы на применение технологий СУБ. В среднем по европейским странам доля применения СУБ занимает 5–8% общего объема применяемого бетона. Есть отдельные примеры применения СУБ и в России[40;103].

В мостостроении СУБ в виде бетонной смеси класса В60 с ОК около 25–27 см был использован во Владивостоке при бетонировании фундаментной части опор вантового моста на острове Русский, а также при сооружении опорных частей пилонов моста АкашиКайко в Японии (введен в эксплуатацию в 1995 г.) и анкерных блоков, в которых закреплены ванты моста, поддерживающие пролетное строение (центральный пролет моста — 1953 м, что является рекордом в мировой практике мостостроения)[54]. Выдающимся примером успешного применения СУБ является также строительство небоскреба «Буржи Дубай» в Дубае (сдан в эксплуатацию в декабре 2009 г.). Полная высота небоскреба — 828 метров[115].

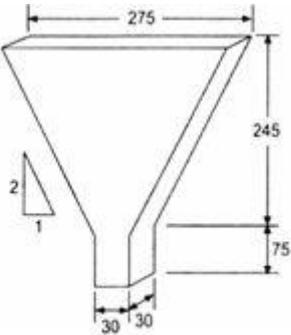
Методы испытаний СУБС с применением лабораторного оборудования

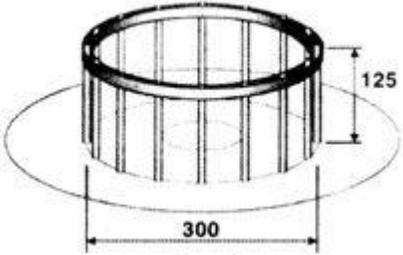
При разработке оптимального состава СУБ большую роль играют реологические исследования. Методика и последовательность исследований разработаны по японскому образцу, включают лабораторные исследования исходных материалов и имеют следующие этапы[19; 20]:

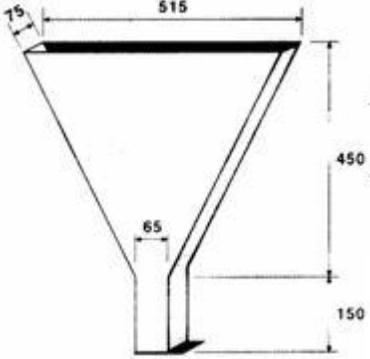
1. испытание цементного теста;
2. испытание раствора;
3. испытание бетонной смеси.

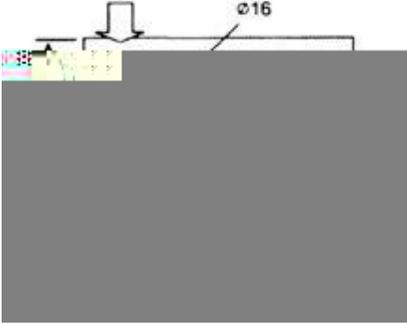
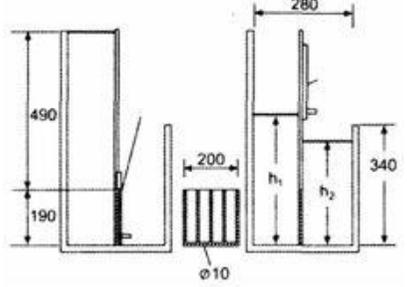
Для испытания СУБС используются различные методы, контролирующие способность бетонной смеси растекаться, выравниваться и преодолевать сопротивление препятствий. Для лабораторных исследований СУБС используется как стандартное оборудование, так и специально разработанное. Методы испытаний СУБС представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 Методы испытания СУБ

Название оборудования	Схема	Описание оборудования	Испытание	Требование
<p>Конус Хегерманна</p> <p>Определение скорости растекания и вязкости с целью последующего определения потребности смеси в воде</p>		<p>Оборудование состоит из трех составных частей: конуса Хегерманна, воронки для его заполнения и стеклянного основания диаметром 300 мм и толщиной 5 мм.</p>	<p>Проводятся при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Конус Хегерманна при помощи воронки заполняется суспензией или раствором. Затем он медленно вертикально поднимается таким образом, чтобы содержимое могло равномерно вытечь на стеклянное основание. Смесь равномерно растекается по основанию. При этом дополнительное встряхивание не требуется. После растекания штангенциркулем измеряется диаметр расплыва.</p>	<p>Относительную степень растекания Γ определяют по формуле $\Gamma = (F/F_0)^2 - 1$, где F_0 – диаметр конуса, равен 100 мм; F – диаметр расплыва</p>
<p>V-образная воронка для раствора</p> <p>Определение скорости протекания и вязкости раствора.</p>		<p>Оборудование состоит из воронки на ножках из нержавеющей стали с открывающейся задвижкой и насадки для облегчения заполнения воронки раствором.</p>	<p>При помощи насадки воронка заполняется раствором в количестве 1,2л. Одновременно с открытием задвижки включается секундомер, фиксирующий время T_0 протекания раствора через воронку</p>	<p>Относительное время прохождения раствора через воронку определяется по формуле $R_M = 10/T_0$. Время прохождения через воронку должно быть 9-10 секунд. Поэтому R_M должно быть в диапазоне между 0,9 и 1,1.</p>

Название оборудования	Схема	Описание оборудования	Испытание	Требование
<p>Конус Абрамса Определение диаметра расплыва конуса и времени растекания бетонной смеси до достижения диаметра 500 мм, а также общего времени растекания бетонной смеси.</p>		<p>Оборудование состоит из конуса Абрамса из нержавеющей стали, плиты основания с гладкой поверхностью и размерами не менее 800х800 мм (обычно размеры плиты 900х900 мм или 1000х1000 мм) и с разметкой 500 мм – круга и центра</p>	<p>Перевернутый конус заполняется свежеприготовленной бетонной смесью без уплотнения. Не позже 90 секунд после наполнения конус поднимается вверх. Сразу включается секундомер. По мере достижения смесью диаметра 500 мм, а также после завершения процесса растекания осуществляется фиксация времени. После завершения растекания определяется максимальный диаметр расплыва бетонной смеси.</p>	<p>Максимальный диаметр расплыва конуса должен быть не менее 700 мм, время достижения диаметра 500 мм должно быть в диапазоне от 3 до 6 секунд, а общее время растекания больше 45 секунд</p>
<p>Конус с блокировочным кольцом Определение диаметра расплыва конуса и времени растекания бетона до достижения диаметра 500 мм после прохождения бетоном блокировочного кольца.</p>		<p>Блокировочное кольцо (диаметром 300 мм с закрепленными гладкими металлическими стержнями длиной 125 мм и диаметром 18 мм) при испытаниях имитирует арматуру. Количество стержней зависит от крупности заполнителя в бетонной смеси и может быть равным 10, 16 или 22. При крупности до 16 мм количество стержней принимается равным 16.</p>	<p>См. предыдущий метод. Блокировочное кольцо устанавливается по центру с использованием имеющейся маркировки</p>	<p>Максимальный диаметр расплыва конуса должен быть не менее 650 мм.</p>

Название оборудования	Схема	Описание оборудования	Испытание	Требование
<p>V-образная воронка для бетонной смеси</p> <p>Определение скорости протекания и вязкости бетонной смеси.</p>		<p>Оборудование состоит из воронки на ножках из нержавеющей стали с открывающейся задвижкой и насадки для облегчения заполнения воронки бетоном</p>	<p>С использованием насадки воронка заполняется бетонной смесью в количестве 10 литров. Одновременно с открытием задвижки включается секундомер, при помощи которого фиксируется время T прохождения бетонной смеси через воронку.</p>	<p>Время прохождения бетонной смеси через воронку должно быть от 10 до 20 секунд [4; 5]. Таким образом, R_B должно быть в диапазоне между 0,5 и 1,0. Время прохождения бетонной смеси через воронку должно быть от 10 до 20 секунд [4; 5]. Таким образом, R_B должно быть в диапазоне между 0,5 и 1,0.</p>
<p>L-образный ящик</p> <p>Определение растекаемости и способности преодолевать препятствия из стержней бетонными смесями.</p>		<p>Оборудование состоит из L-образного ящика с длиной основания 700 мм, в котором для имитации арматуры установлены стержни. В конструкции ящика имеются задвижка и воронка для его заполнения.</p>	<p>При помощи воронки вертикальная часть ящика полностью заполняется бетоном. Одновременно с поднятием задвижки засекается время. Бетон проходит через ряд вертикальных стержней, имитирующих арматуру, и растекается по горизонтальной части ящика. По достижении бетоном отметки в 400 мм фиксируется время. Кроме того, после завершения процесса растекания измеряются уровни бетонной смеси в</p>	<p>Время достижения отметки в 40 см (T_{40} см) должно быть в диапазоне от 3 до 6 секунд, отношение высот H_2 к H_1 должно быть не менее 0,8.</p>

Название оборудования	Схема	Описание оборудования	Испытание	Требование
<p>Ящик Каджима Определение степени заполнения и способности преодолеть препятствия</p>		<p>Оборудование состоит из ящика из плексигласа размерами 500х300х300 мм с трубкой (соотношение длины и диаметра 500/100 мм) и конуса для наполнения высотой 100 мм. Внутри ящика в качестве имитации арматуры установлены барьеры из стержней диаметром 16 мм. Всего 5 рядов в каждом по 7 барьеров</p>	<p>месте заполнения (H_1) и в месте достижения крайнего положения (H_2).</p> <p>Через конус и трубку ящик заполняется бетонной смесью (со скоростью 5 л за 5 с) до уровня, когда закроется верхний стержень со стороны заполнения. После заполнения измеряется высота уровня со стороны заполнения (h_1) и с противоположной стороны (h_2).</p>	<p>Степень заполнения в процентах равна $h_2 \times 100 / h_1$. Если эта величина больше 95%, то это требование выполняется.</p>
<p>Тестовый ящик для бетонной смеси Определение подвижности и способности преодолеть препятствия бетонными смесями</p>		<p>Оборудование состоит из ящика, выполненного из нержавеющей стали по определенным размерам. Ящик имеет перегородивающую задвижку и рамку со стержнями, которые имитируют арматуру.</p>	<p>Левая часть ящика полностью заполняется бетонной смесью. После заполнения открывается задвижка и часть бетонной смеси перемещается через рамку со стержнями в правую часть. После стабилизации процесса перетекания измеряют высоту уровней бетонной смеси в левой и правой частях.</p>	<p>Разница между уровнями в обеих частях ящика должна быть не более 20 мм.</p>

Название оборудования	Схема	Описание оборудования	Испытание	Требование
<p>Трехсекционная цилиндрическая форма. Определение равномерности распределения заполнителя в бетоне за счет промывания бетонной смеси и последующего просеивания заполнителя.</p>		<p>Трехсекционная цилиндрическая форма общей высотой 450-500 мм, высотой секции 150 мм и диаметром 150 мм, разделяемая на секции двумя задвижками, три емкости, весы с точностью 1 г, сито с размером ячейки 8 мм.</p>	<p>Цилиндрическая форма под углом 45 градусов полностью заполняется бетонной смесью (с крупностью заполнителя до 16 мм) и отстаивается в вертикальном положении до начала схватывания около 30 минут. При помощи двух горизонтальных задвижек бетонная смесь в цилиндре разделяется на 3 секции, и содержимое каждой из секций взвешивается. Затем содержимое каждой из трех секций промывают и просеивают на сите с размером ячейки 8 мм. Материал после просеивания высушивают и взвешивают. Таким образом, равномерность распределения заполнителя определяется путем сравнения трех масс сухого заполнителя крупностью 8-16 мм, полученного из трех секций после промывания и просеивания.</p>	

Проведенный анализ свойств и требований к СУБС показал, что для разрабатываемой технологии с использованием бетононасосной техники, оптимально применение СУБС, позволяющее бетонировать полости в конструкциях, где вибрационные нагрузки ограничены, при достижении максимального сцепления свежееуложенной бетонной смеси с днищем оборудования.

1.4 Обзор конструктивных типов полостей и их классификация

Для окончательного определения в направлении совершенствования технологии заполнения полостей бетонной смесью необходимо четкое понимание специфики требований, предъявляемых к различным типам полостей, актуальных в настоящее время. Для решения этой задачи автором был проведен анализ возможных конструктивных решений полостей, на основании которого разработана классификация[62]. В процессе классификации полостей учитывался тот факт, что полости могут образовываться не только при монтаже оборудования между основанием и станиной промышленного оборудования, но и быть конструктивными элементами зданий и сооружений (например при оштукатуривании с применением съемной опалубки[103; 107]) которые также подлежат заполнению строительными смесями, что значительно увеличивает разнообразие возможных видов полостей. Если рассматривать только полости образующиеся на стыке фундамент – оборудования, то они носят простой характер. Согласно действующим нормативным документам[84] по монтажу технологического оборудования полости образуются четырьмя способами:

- монтаж оборудования с использованием регулировочных винтов;
- монтаж оборудования с использованием металлических подкладок;
- монтаж оборудования с использованием инвентарных домкратов;
- монтаж оборудования с использованием гаек фундаментных болтов.

Наряду с этими способами, учтена конструкция полостей между основанием и металлической опорной плитой служащей основанием монтируемых аппаратов и

установок, получившая применение в ряде отраслей промышленности. Разработанная классификация представлена в пятой главе в виде таблицы. По каждому типу полости даны возможные варианты способов их бетонирования и приведены характерные особенности данного конструктивного типа полости, которые необходимо учитывать при разработке технологии их заполнения.

Выводы по первой главе, цели и задачи исследования

1. Рассмотрены известные способы бетонирования полостей в которых выявлены ряд недостатков, основными являются ограничения полости по высоте, отсутствие возможности бетонирования полостей имеющих в своем составе технологические прокладки.
2. Выявлены особенности бетонирования нагнетательным способом при помощи бетононасосов. Согласно сформулированной гипотезе предполагаемой технологии бетонирования полостей подача смеси должна происходить равномерно с малой скоростью истечения из бетоновода. Установлено, что по своим характеристикам оптимальным видом бетононасоса по режиму работы является *роторный*.
3. Показаны основные требования к бетонным смесям, перекачиваемые бетононасосами, вследствие чего обосновано применение СУБС-ей при бетонировании полостей бетононасосами, к которым предъявляются более жесткие требования по сравнению с требованиями к смесям под перекачку бетононасосами.
4. Основываясь на современные требования и конструктивные решения полостей, установлено, что существует необходимость разработки новой технологии бетонирования путем нагнетания бетонной смеси в объем полости, позволяющей исключить недостатки существующих способов бетонирования полостей, указанных в п.1.
5. Таким образом, **целью настоящей диссертационной работы** является проведение исследований, направленных на разработку новой

технологии бетонирования полостей под промышленными аппаратами методом нагнетания с обеспечением качественного заполнения полостей с высотой большей нормативной (80мм), имеющих в своем составе технологические включения, при рациональных параметрах технологического процесса.

6. В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи[63]:

- разработать метод подачи бетонной смеси в полость между основанием и оборудованием, отвечающий критерию максимально возможной производительности при подаче смеси одновременно с нескольких сторон;
- определить влияние различных технологических прокладок в толще полости на распространение бетонной смеси;
- рассмотреть теоретическую и физическую модели происходящих процессов;
- провести модельные экспериментальные исследования разработанных решений для определения рациональных параметров подачи бетонной смеси в полость, имеющую в своем составе технологические включения, с нескольких сторон, исходя из оптимальной скорости подачи смеси для достижения качественного заполнения объема, с использованием высокоподвижной строительной смеси обладающей высокой степенью живучести;
- подтвердить целесообразность и обосновать эффективность разработанных технологических решений по бетонированию полостей и целесообразность их применения на практике, определить технико-экономический эффект от их использования;
- разработать технологический регламент по реализации новой технологии бетонирования полостей под промышленными аппаратами.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНИРОВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ

2.1 Теоретические основы для разработки нового метода бетонирования полостей

Для разработки новой технологии бетонирования полостей отвечающей современным требованиям, необходимо определить направление, основываясь на которое будет сделан выбор в пользу предлагаемого метода. Для этого была разработана классификация существующих способов бетонирования полостей и теоретически возможных, из которых в дальнейшем будет выбран новый метод заполнения полости. Основным признаком деления способов бетонирования является применение принудительного уплотнения бетонной смеси или же отсутствия такового. Помимо этого, следует разделять способы подачи бетонной смеси: под собственным весом (гравитационный) и с применением принудительного давления (нагнетанием). Применительно к бетонированию различных полостей, главенствующим фактором подразделения способов является расположение органа подающего бетонную смесь (лоток накопитель, бетоновод и др.) относительно самой полости (с периферии, верхней плоскости).

Классификация способов бетонирования полостей

I Бетонирования с периферии полости:

1. Вибрационная технология:
 - 1.1. традиционная вибрационная технология с применением жестких и малоподвижных бетонных смесей, подаваемых из лотка накопителя;
 - 1.2. с применением дополнительного побуждающего органа в виде виброобоймы под днищем промышленного аппарата;
 - 1.3. подача бетонной смеси посредством бетоновода совместно с вибропобуждающим органом.
2. Безвибрационная технология с применением самоуплотняющихся бетонных смесей:

- 2.1 подача смеси из лотка накопителя в опалубку с одной стороны периметра образовавшейся полости до появления бетонной смеси с противоположной;
- 2.2 подача смеси посредством бетоновода в опалубку с одной стороны до появления бетонной смеси с противоположной;
- 2.3 подача смеси посредством бетоноводов с двух (трех и т.д.) сторон, в зависимости от площади основания;
- 2.4 подливка самоуплотняющихся смесей под оборудование с протягиванием тонких стержневых элементов (возвратно – поступательные движения).

II Бетонирования полости с верхней плоскости:

- 3 Подача бетонной смеси через отверстие (отверстия) в основании:
 - 3.1 подача осуществляется под механическим давлением (при помощи бетононасосов, пневмоагнетателей, и др. насосов);
 - 3.2 подача осуществляется через воронку (виброворонку), «нагнетание» осуществляется за счет контролируемого гидростатического давления столба бетонной смеси.

III Другие:

- 4 Метод механического зачеканивания;
- 5 Инъектирование;
- 6 Метод погружения.

Варианты применения способов бетонирования для различных конструктивных типов полостей приведены в параграфе 5.3.

2.1.1 Влияние конструктивных особенностей полости

При разработке технологии бетонирования полостей необходимо учитывать следующие характерные особенности полостей подлежащих заполнению бетонной смесью[28]:

- *Соотношение высоты полости к ее площади.* Очевидно, что при больших площадях и малой высоте полости возникает трудности по ее заполнению в связи с увеличением сопротивления движения бетонной смеси. Кроме того возможно защемление воздуха при движении встречных «поточков» бетонной

смеси, к такому результату может привести подача смеси с периферии с нескольких сторон.

- *Наличие включений в полости.* Зачастую под днищами аппаратов прокладываются трубопроводы (Рис. 2.1), например трубы системы охлаждения и др., существенно осложняющие процесс заполнения полости бетонной смесью. В таких случаях целесообразно перед принятием технологии заполнения производить моделирование, чтобы проследить процесс заполнения пространства бетонной смесью и подобрать оптимальные параметры бетонирования: подвижность смеси; скорость подачи бетонной смеси; способ подачи бетонной смеси и др. Моделирование позволит так же уточнить оптимальное расположение проходок (по высоте полости) для обеспечения надежного заполнения полости бетонной смесью.

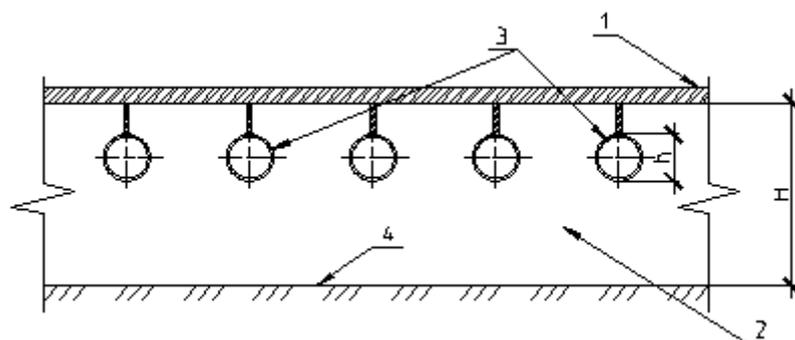


Рис.2.1 Схема фрагмента полости с трубчатыми включениями: 1-Днище аппарата; 2-Полость; 3-Трубчатые включения; 4-Основание.

- *Форма поверхности днища.* Применение аппаратов с вогнутой поверхностью крайне не желательно, т.к. затруднено удаление воздуха из верхней части полости и образовании воздушной линзы по центру днища. Бетонирование в таком случае возможно только из центра сверху, но устройство технологических отверстий в днище аппаратах зачастую невозможно. Выпуклая конусная форма поверхности днища аппарата позволяет произвести монтаж оборудования путем погружения в свежееуложенную бетонную смесь на выверенные опоры (Рис. 2.2).

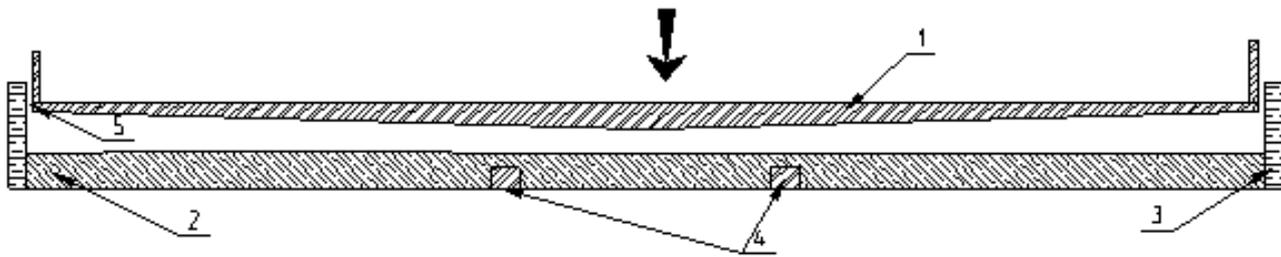


Рис.2.2 Схема бетонирования методом погружения: 1-Днище аппарата выпуклой формы; 2- Свежеложенная высокоподвижная бетонная смесь; 3-Опалубка; 4-Опоры; 5-Зазор по контуру.

- *Доступ к полости возможен только с верхней поверхности (закрытая полость)*. При монтаже тяжелых аппаратов их опирание часто производится на металлическую ребристую плиту (Рис. 2.3) для восприятия массы оборудования и его выверки. Монтаж аппарата производится после заполнения полостей бетонной смесью между опорной плитой и опорной поверхностью фундамента. В этом случае затруднен контроль при заполнении пространства под плитой между ребрами.

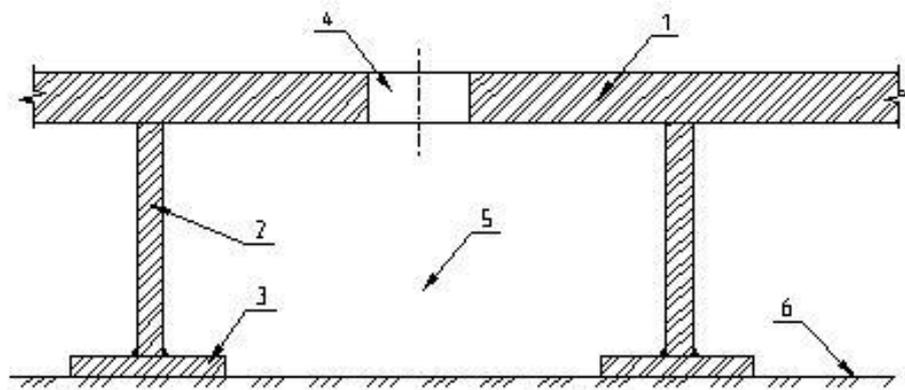


Рис.2.3 Схема фрагмента закрытой полости: 1-верхняя плита; 2-Ребро; 3-Полка ребра; 4 - Отверстие для бетонирования; 5 - Закрытая полость; 6-Основание.

Подробнее влияние характеристик полости на качество ее заполнения рассмотрены в параграфе 2.4.

2.1.2 Альтернативные методы бетонирования полостей и опыт их применения

Помимо традиционных способов с непосредственной подачей бетонной смеси после монтажа оборудования, возможны альтернативные методы бетонирования полостей[64]. В случае применения СУБС появляется возможность выполнения монтажа с применением дниц с конусным основанием. Такая форма основания позволяет производить монтаж аппаратов без подливки в процессе монтажа. Суть технология состоит в том, что опорная часть аппарата

устанавливается на свежееуложенный бетон высокой подвижности (Рис. 2.4). Днище опирается на упоры, расположенные ниже уровня слоя свежееуложенной смеси. Опалубка по периметру устанавливается с зазором по контуру так, чтобы вытесненный объем бетонной смеси имел возможность заполнять этот зазор. При применении самоуплотняющихся бетонных смесей величина зазора должна составлять не менее 20мм (не менее величины равной 4-м диаметрам наибольшей фракции крупного заполнителя). Важно отметить, что до окончательной установки плиты, предварительно производится выверка опорной плиты под оборудования на упорах фундаментах без бетонной смеси.

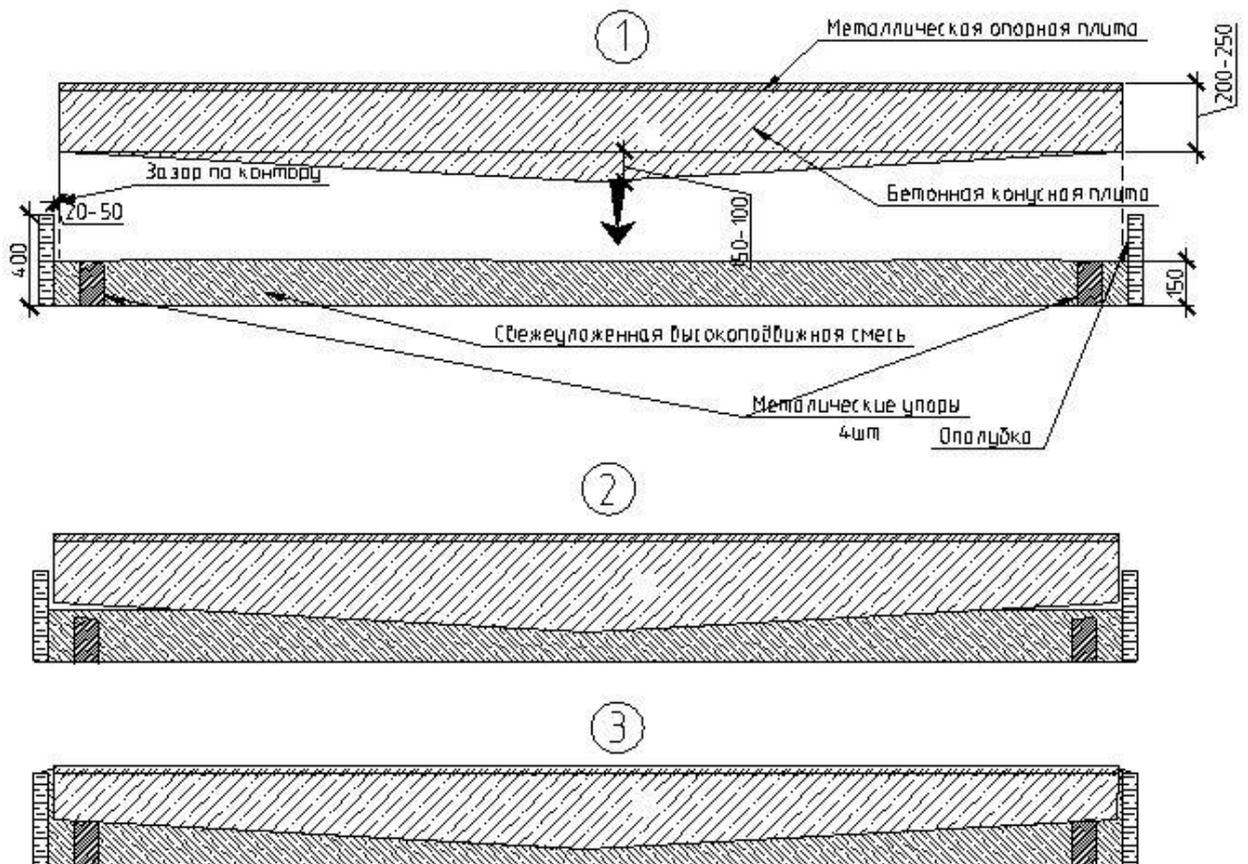


Рис. 2.4 Схема монтажа опорной плиты методом погружения: 1—схема перед установкой опорной плиты оборудования; 2—схема начала погружения опорной плиты в свежееуложенную часть; 3—окончательная позиция при установке опорной плиты на упоры в свежееуложенной смеси.

Соискателем в качестве ответственного исполнителя ООО «ТЕХНОАРМ+» был проведен производственный эксперимент по монтажу (бетонированию) такой конструкции. В качестве аппарата использовалась метало-бетонная плита днища, размером в плане 3470x3470. Высота плиты состояла из трех элементов:

металлическое основание 25мм, основной бетонный слой 200мм, конусная бетонная часть высотой в центре 100мм. Конусность днища составляла 6%. Высота свежееуложенного слоя СУБС составляла 150мм. Опалубка размером 3500х3500, тем самым образуется зазор по контуру 20мм, и высотой 400мм. Объем вытесняемой смеси 200л.

Плита погружалась в основание со свежееуложенной тяжелой бетонной смесью высокой подвижности (расплав конуса 90см) толщиной 150мм. В качестве грузоподъемного механизма применялся вилочный погрузчик Hyster H32XMS-16, Q=32т с обратными вилами (Рис. 2.5). Плита выводилась в проектное положение в плане, после чего медленно опускалась до момента соприкосновения нижней часть конуса со свежееуложенной смесью. После этого машинист погрузчика произвел контролируемый сброс плиты. Проектное положение по высоте контролировалось по рискам, нанесенным предварительно на опалубку.

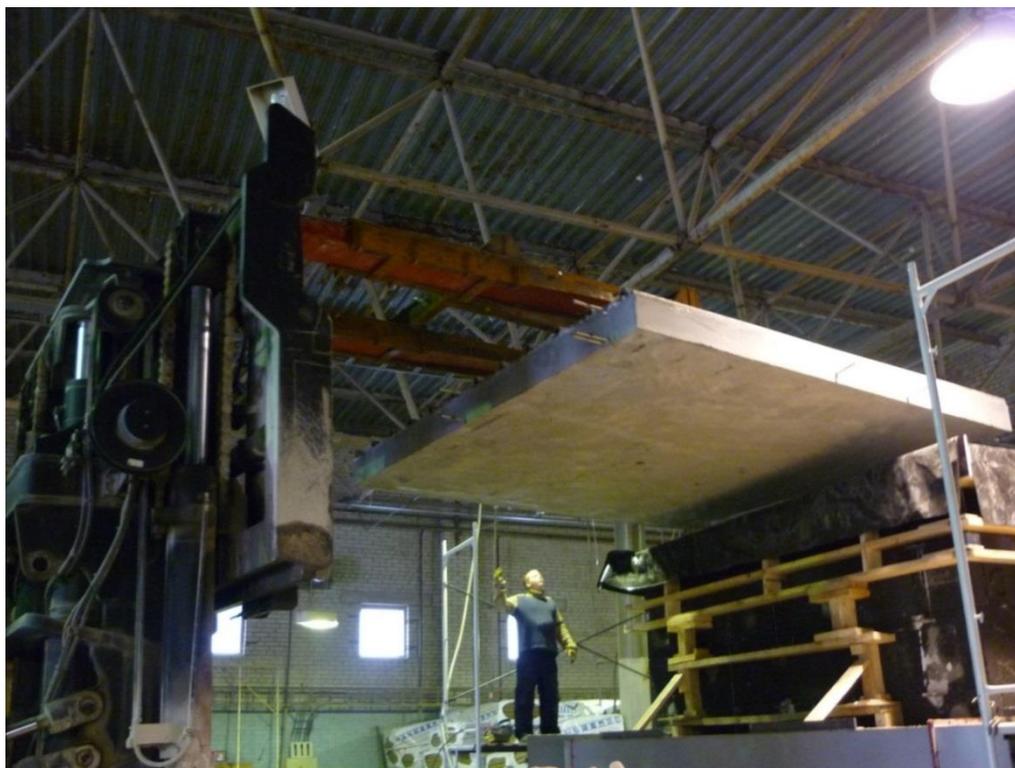


Рис. 2.5 Производственный эксперимент монтажа плиты с конусным основанием

Погружение в проектное положение осуществлялось за счет того, что масса метало-бетонного основания и с расположенной на ней пригрузы превышали архимедову силу на 30%.

Еще одним альтернативным способом бетонирования полости может служить разработка технологии, применяемая при заполнении полости под экспериментальной энергетической установкой с диаметром основания 3,0м[75;77]. Схема проведения эксперимента показана на Рис 2.6.

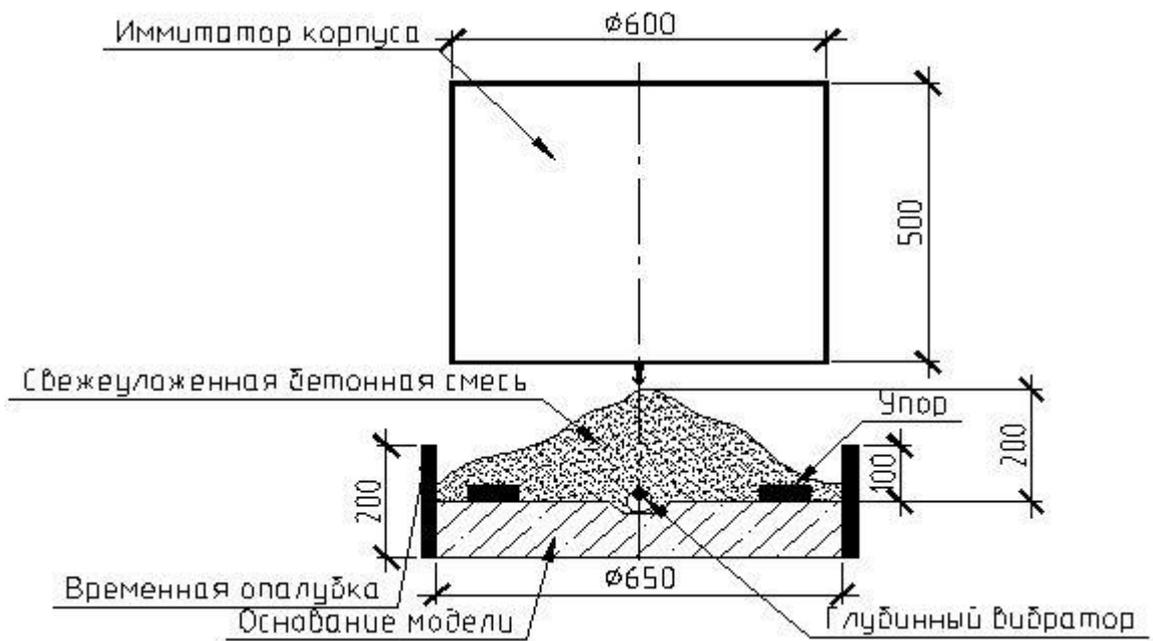


Рис. 2.6 Схема модели монтажа оборудования методом погружения

Перед началом эксперимента имитатор корпуса устанавливался вертикально на три опоры проектной величины. После загрузки бетона и формирования в центральной части выпуклости предварительно уложенным бетоном, на бетон опускался имитатор корпуса и включался вибратор. В связи с отсутствием в период проведения модельного эксперимента (80-е годы двадцатого столетия) разработок по СУБС, в качестве свежеуложенной бетонной смеси применялся мелкозернистый бетон подвижностью П3. Масса имитатора превышала Архимедову силу на 30%. При опускания на него корпуса и включённом вибраторе, происходило уменьшение высоты зазора и увеличение эффективного радиуса действия вибрации за счет использования явления отражения виброволн от верхней и нижней плоскостей основания и днища

корпуса, что приводило к ускорению процесса опускания корпуса на упоры. При этом бетонная смесь появляется по всему периметру кольцевого зазора. После окончания установки корпуса на опоры, вибраторы выключались и оставлялись в опорном слое бетона.

2.2 Технология бетонирования полостей методом нагнетания

Рассмотрев существующие способы бетонирования полостей и произведя анализ их достоинств и недостатков, учитывая современные требования, предъявляемые к конструктивным решениям полостей, очевидна необходимость в создании новой безвибрационной технологии бетонирования полостей с принудительной подачей бетонной смеси с учетом факторов выявленных в предыдущем параграфе.

Задачами, на решение которых направлено новое предложение, являются:

- Снятия ограничения по высоте бетонирования полости;
- Возможность производить бетонирования под оборудованием, в котором недопустима вибрация, в частности с технологическими включениями.
- Уменьшение трудозатрат;
- Повышение качества поверхности на стыке с днищем оборудования;
- Возможность применения стандартного механизированного оборудования;

В основе разработанной технологии[65] лежит монолитный способ проведения работ с применением бетононасоса, подающего самоуплотняющуюся бетонную смесь в технологический зазор (Рис 2.7а, б). Сущность технологии заключается в том, что бетонирование полости под технологическим оборудованием производится из центра полости или от противоположной стороны без дальнейшего принудительного уплотнения бетонной смеси, а подача самоуплотняющейся бетонной смеси в полость осуществляется непрерывно посредством бетоновода, который при необходимости извлекается из полости не

ранее подъема уровня бетонной смеси в пространстве между периметром опалубки и корпуса оборудования выше днища аппарата.

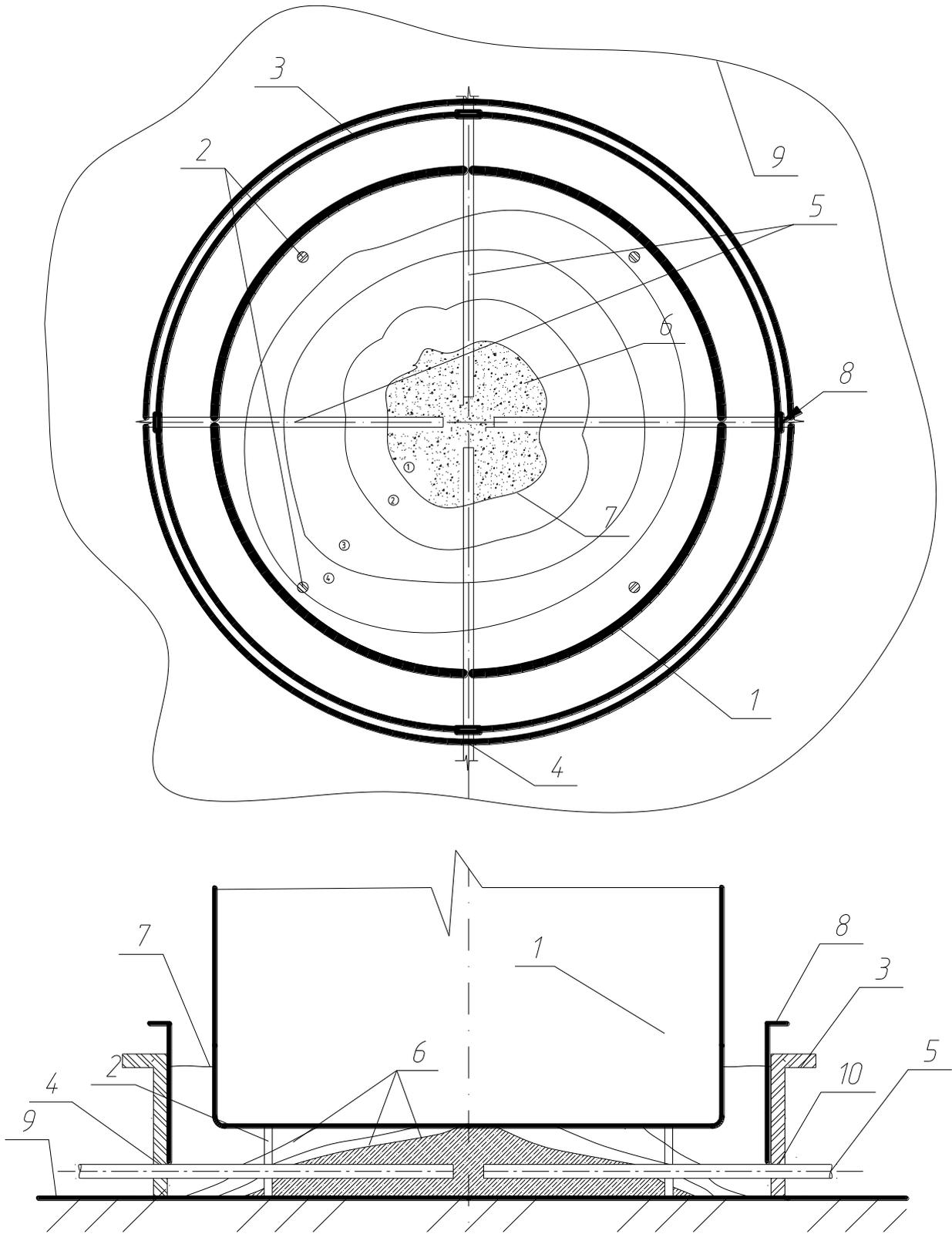


Рис.2.7а Схема бетонирования полости из центра нагнетательным методом: 1-оборудование; 2 – опоры; 3 – опалубка; 4 – отверстия в опалубке под бетоноводы; 5 – бетоноводы; 6 – бетонная смесь; 7 – уровень бетонирования (подпора); 8 – заглушки; 9 – основание; 10 – уплотнитель.

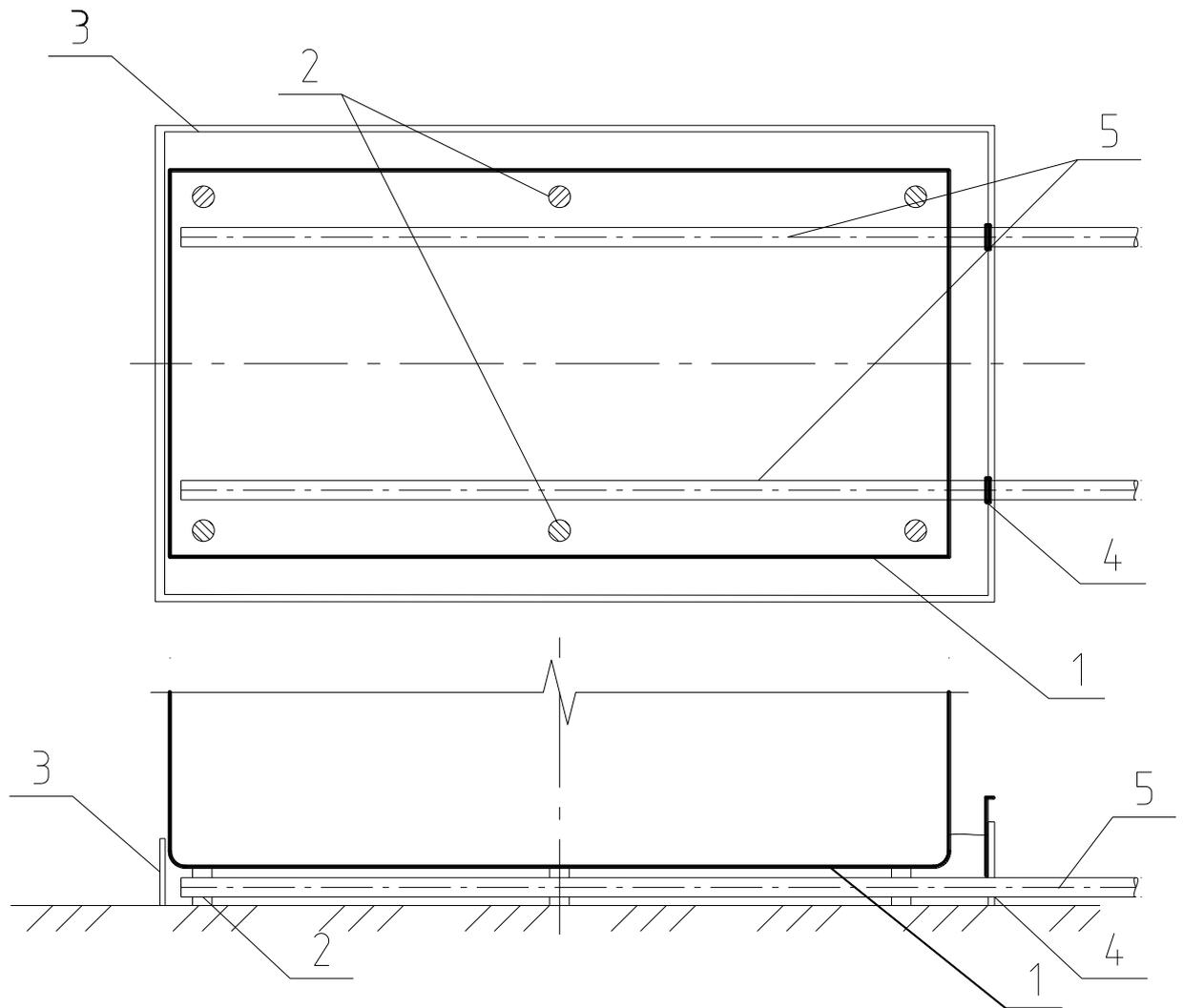


Рис 2.7.б Схема бетонирования нагнетательным методом от торцевой стороны: 1-оборудование; 2 – опоры; 3 – опалубка; 4 – отверстия в опалубке под бетоноводы; 5 – бетоноводы; 6 – бетонная смесь

Метод бетонирования полости под технологическим оборудованием 1(Рис.2.7а) осуществляется следующим образом. На определенном расстоянии от корпуса оборудования, смонтированного на монтажные опоры 2 и выверенного с точки зрения точности установки оборудования, собирают опалубку 3, причем верхний уровень последней должен быть выше отметки днища корпуса оборудования. Далее в опалубке в местах ввода 4 бетоноводов 5 устраиваются отверстия с уплотнением. Затем бетоноводы вводятся в полость, образованную днищем оборудования и фундаментом, не доходя до центра днища или торцевой стороны 400-500мм(4-5 диаметров бетоновода), после чего в бетоноводы подается самоуплотняющаяся бетонная смесь 6. Смесь подается до момента, пока по всему периметру выше отметки корпуса днища 7 не появится бетонная смесь, после чего при необходимости можно извлекать бетоноводы наружу, при этом, не

прекращая подачу бетонной смеси. По окончанию вывода бетоновода отверстия перекрываются задвижками 8. В случае, когда бетоноводы замоноличиваются в объеме полости, их срезают при демонтаже опалубки.

Предлагаемый метод обладает следующими преимуществами перед известными решениями:

- возможность подливки бетонной смеси под технологическое оборудование практически любых размеров и конфигурации в плане;
- повышение качества и производительности работ за счет применения бетонных смесей высокой подвижности при принудительной подаче смеси;
- возможность подачи бетонной смеси с нескольких сторон;
- возможность бетонировать полости имеющие в своем объеме технологические включения;
- отсутствие дополнительных технологических операции и оборудования по уплотнению бетонной смеси;
- отсутствие ограничений по высоте полости;
- применение стандартного оборудования.

2.3 Теоретическое обоснование параметров процесса перемещения бетонных смесей в полости

Коллоидные растворы и суспензии, отличающиеся по своим свойствам от однородных «ньютоновских» жидкостей, стали обширно применяться в конце XIX века. В этот период были произведены исследования множества растворов (желатин, крахмал, строительные растворы и т.д.), которые показали: - находясь в состоянии покоя, они приобретают студнеобразную структуру - гель, для нарушения которой необходимо приложить некоторое усилие, при этом усилие для перевода загустевшего раствора в подвижное состояние (золь) зависит от времени и условий образования геля; - внутреннее трение, проявляющееся после разрушения структуры, характеризуется переменной динамической вязкостью

(коэффициентом внутреннего трения), уменьшающейся с повышением напряжения сдвига при увеличении градиента скорости[43].

Экспериментальные исследования этих систем, проведенные рядом ученых (Ивянский, Шведов, Бингам, Букингам, и др.) показали, что они их реологические свойства не подчиняются «ньютоновским» жидкостям. Бетонные смеси и строительные растворы представляют собой упруговязкие дисперсные системы, в которых дисперсными фазами являются активное вяжущее и заполнитель, а дисперсной средой - вода. С.Н. Алексеев[1; 2], С.С. Атаев⁵, И.Н. Ахвердов[7; 8], П.И. Боженов, В.М. Васильев, Г.Б. Ивянский[46; 47], В.А. Кузьмичев[55; 56; 57], Н.В. Михайлов[67], А.А. Парийский, К.Ф. Паныш[79], П.В. Проценко, П.А. Ребиндер и другие бетонную смесь относят к упруговязким телам, у которых под действием малых внешних сил до определенного предела наблюдаются упругие обратимые деформации. При превышении этого предела в таком теле происходят необратимые деформации и приближается к вязким телам. Под действием внешних сил часть энергии упруговязких тел переходит из кинетической в потенциальную, а часть необратимо обращается в теплоту – для изменения и перемещения структурных элементов. Таким образом, бетонная смесь обладает одновременно свойствами упругого и вязкого тела.

Движение бетонной смеси при их перекачке по бетоноводу может быть установившимся и не установившимся. Установившиеся - скорость перемещения смеси со временем не меняется ни по направлению, ни по величине. В иных случае движение считается не установившемся. При перемещении бетонной смеси при его подаче роторным бетононасосом по армированному шлангу, а далее по бетоноводу, движение можно считать установившимся.

Детальное исследование технологии инъекционного формования тонкостенных изделий из цементно-песчаной смеси проводил И.М. Головачев [32], которое при некоторой адаптации применимо к рассматриваемому случаю.

Всякая сила давления, оказываемая на жидкость, направлена перпендикулярно поверхности сосуда[106]. Касательная к поверхности сила не может существовать в условиях равновесия. В этих условиях жидкость не

работает на сдвиг, так как изменения происходят только в форме тела без изменения объема. Когда состояние равновесия нарушено, жидкость течет, соприкасаясь с твердой поверхностью. Между поверхностью твердого тела и всякой реальной жидкостью (или газом) всегда существуют силы молекулярного сцепления, приводящие к тому, что непосредственно прилегающий к твердой стенке слой жидкости полностью задерживается, приликая к поверхности. То есть скорость течения на стенке равна нулю. По мере удаления от стенки вглубь потока жидкости, скорость течения увеличивается и, благодаря вязкости, возникает импульс по направлению к этой стенке. Изменение импульса тела за промежуток времени к величине этого промежутка времени есть сила, действующая на тело. Следовательно, импульс, переносимый в единицу времени через единицу поверхности и передаваемый от жидкости к стенке, есть сила трения, действующая на единицу поверхности твердой стенки, соприкасающейся с жидкостью.

Сила трения в основном зависит от вязкости жидкости и градиента скорости. Основные законы внутреннего трения жидкостей были открыты Ньютоном и заключаются в следующей зависимости - сила взаимодействия между слоями жидкости, движущимися относительно друг друга с известной скоростью, зависит от рода жидкости и пропорциональна градиенту скорости движения и площади соприкосновения этих слоев[22].

Закон Ньютона приемлем только для гомогенных жидкостей. У гетерогенных жидкостей, к которым относится бетонная смесь, внутреннее трение выражается сложными зависимостями. У неоднородных жидкостей потери, в зависимости от изменения скорости их движения, изменяются медленнее, чем у однородных. Гетерогенные жидкости имеют способность сохранять в статическом состоянии касательные напряжения, а аномальные гетерогенные жидкости (бетонные смеси и строительные растворы) обладают свойствами твердого и вязкого тел одновременно[9].

Наиболее приемлемой теорией для коллоидно-дисперсных систем является диффузионная, раскрытая в трудах[56]. Для таких систем наиболее применима

диффузионная теория. Она заключается в предположении полного рассасывания энергии активации молекул, необходимой для их перехода из одного положения равновесия в другое при их перемещении, т.е. коэффициент вязкости жидкостей выводится из рассмотрения диффузионного движения молекул [73]. Такая теория обосновывает перемещение коллоидных частиц из одного положения равновесия в другое и колебательному движению частиц около положений равновесия.

На основании этой теории [43] было выведено определение коэффициента диффузии (кинематической вязкости):

$$D = \frac{\delta^2}{6t}, [\text{м}^2/\text{с}], [\text{СТ}], \quad (2.1)$$

$$\text{где } t = \delta \sqrt{\frac{2\pi m}{kT}} * e^{\frac{\Delta U}{kT}}$$

и динамической вязкости

$$\varphi = \frac{2kT}{\eta\delta^3}, [\text{Па}\cdot\text{с}], [\text{П(Пуаз)}], \quad (2.2)$$

являющимися базовыми параметрами, определяющими реологические характеристики различных смесей, где:

δ -длина скачка коллоидной частицы из одного положения равновесия в другое, равная диаметру частицы;

t - длительность пребывания частицы в одном из положений;

m – масса коллоидной частицы;

k -постоянная Больцмана;

T - абсолютная температура;

ΔU – кинетическая энергия частицы.

С помощью данных параметров возможно определение поведения различных строительных смесей, в том числе мелкозернистых самоуплотняющихся бетонных смесей, при их перекачке по трубопроводам, расчет параметров бетононасосной техники. Однако для построения математической модели распространения бетонной смеси при нагнетании ее в полость под оборудования данных параметров недостаточно. Помимо реологических свойств бетонной смеси необходимо учитывать такие основные

факторы- производительность бетононасоса, диаметр бетоновода, а вследствие этих параметров- скорость истечения бетонной смеси из бетоновода, величину заполняемого зазора между основанием и оборудованием, сил трения бетонной смеси о поверхность и др.

Для изучения процессов, происходящих при заполнении полости бетонной смесью, соискателем была построена физическая модель с учетом сил (вязких, инерционных, гравитационных и сил трения) действующих в процессе распространения бетонной смеси в зазоре между основанием и оборудованием (рис. 2.8).

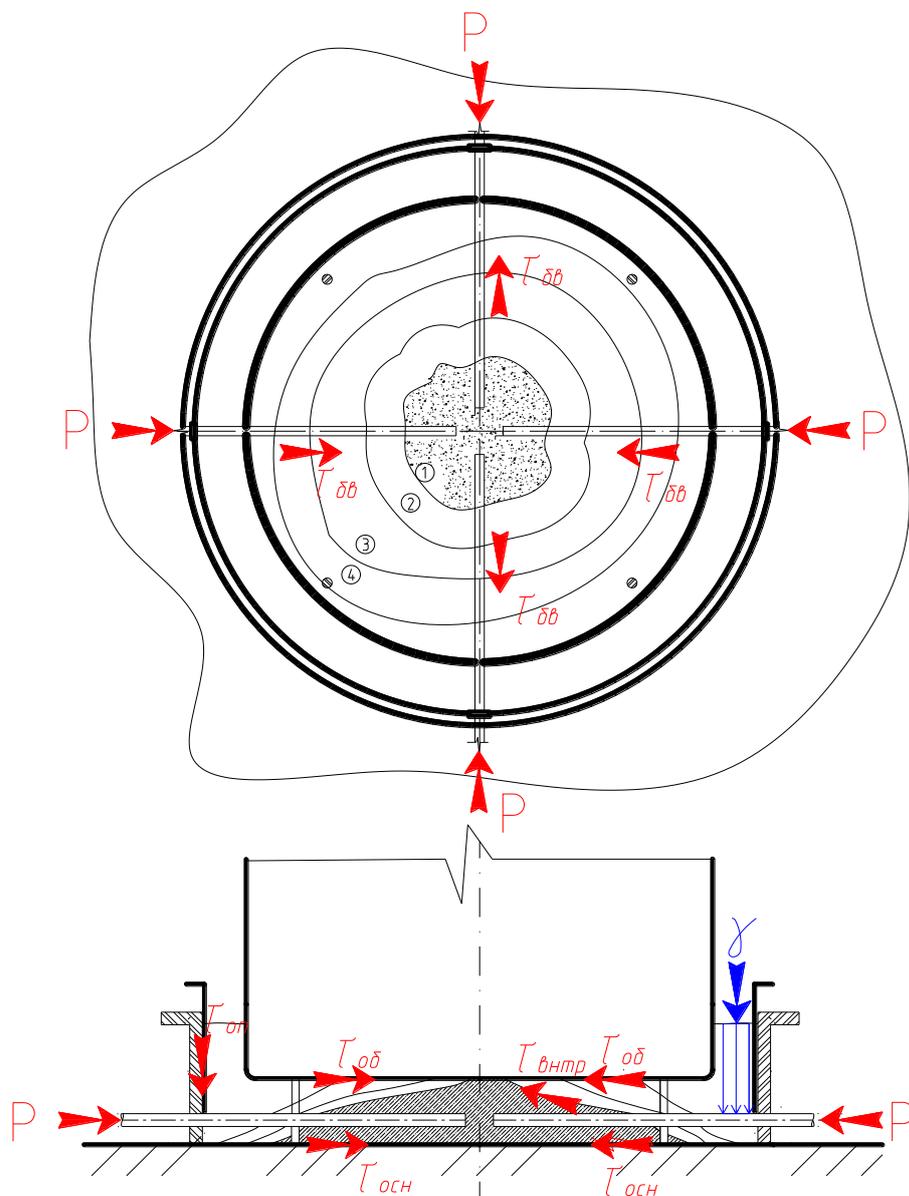


Рис. 2.8 Физическая модель процесса распространения бетонной смеси в полости

В соответствии с предложенной моделью для осуществления подачи бетонной смеси в полость необходимо, чтобы давление P , создаваемое роторным бетононасосом, было больше, чем давление P_1 , равное сумме сил противодействующих распространению бетонной смеси в полости, т.е.

$$P > P_1,$$

где

$$P_1 = \tau_{осн} + \tau_{об} + \tau_{бв} + \tau_{внутр} + \tau_{вкл} + \gamma \quad (2.3)$$

где $\tau_{осн}$ – сила трения бетонной смеси по поверхности основания; $\tau_{об}$ – сила трения бетонной смеси по поверхности оборудования; $\tau_{он}$ – сила трения бетонной смеси по боковым поверхностям опалубки; $\tau_{бв}$ – сила трения бетонной смеси по поверхностям бетоноводов; $\tau_{внутр}$ – сила внутреннего трения бетонной смеси; $\tau_{вкл}$ – сила трения по поверхности технологических включений; γ – объемный вес столба бетонной смеси выше отметки устья рабочих бетоноводов.

Процесс заполнения полости бетонной смесью предложенным нагнетательным методом, когда устье бетоновода через определенное время находится в толще подаваемой бетонной смеси, по своим физическим данным сопоставим процессу укладки бетонной смеси под водой по методу вертикально перемещаемых труб (ВПТ)[110] и методу «восходящего раствора»[23; 37], применяемых в гидротехническом строительстве. Бетонная смесь, выходящая из устья рабочих бетоноводов, заглубленных в плане на некоторое расстояние в полость, вначале вытекает свободно до тех пор, пока не образуется уровень, закрывающий устье бетоноводов, либо если бетоноводы находятся на небольшом расстоянии друг от друга, пока не соприкоснутся потоки бетонной смеси друг с другом (Рис.2.9сх.А этап 3). Далее смесь заполняет всю площадь поверхности полости до момента, пока не будет превышен уровень верха бетоноводов. Подъем слоя бетонной смеси, затем, происходит сплошной массой, при этом она испытывает большее сопротивление, с учетом того, что необходимо преодолевать объемный вес столба бетонной смеси выше отметки устья рабочих бетоноводов, при этом криволинейность поверхности будет обладать максимальным радиусом кривизны (угол к горизонту) в связи с высокой подвижностью смеси (Рис.2.9сх.Б).

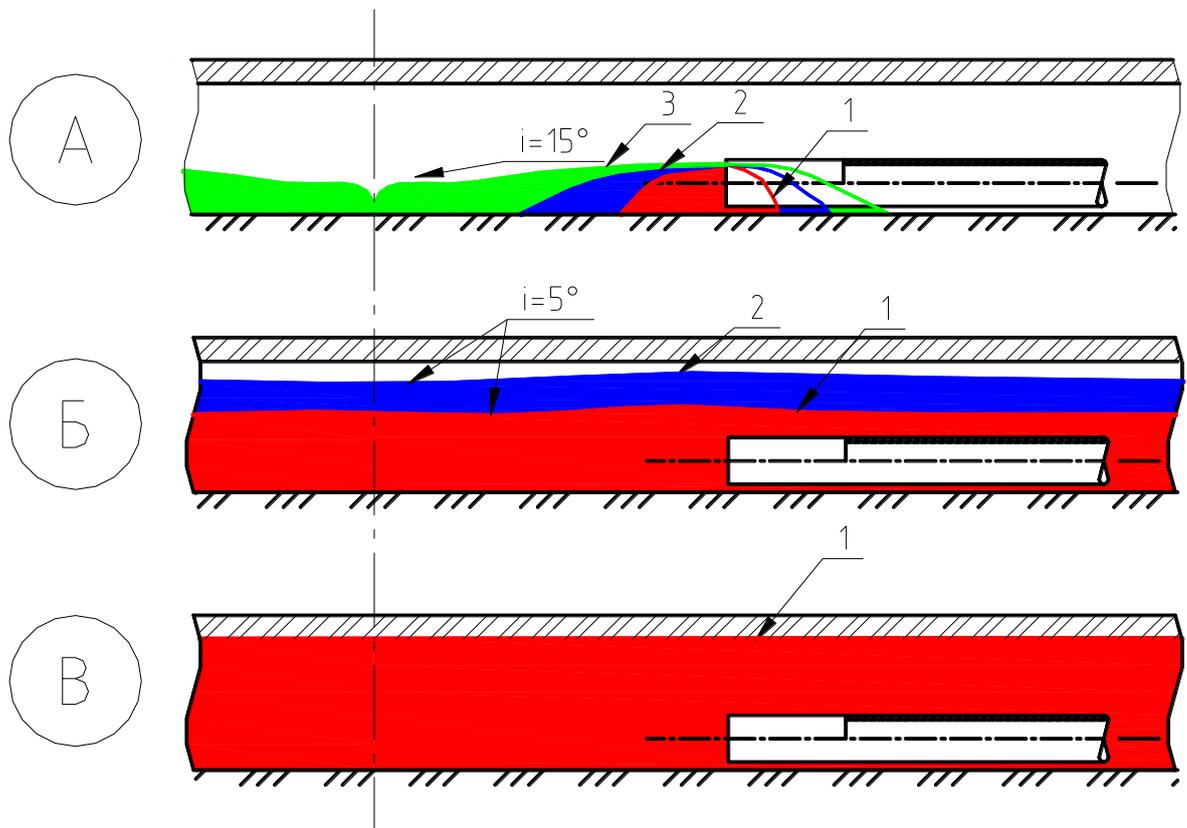


Рис. 2.9 Схема движения бетонной смеси в полости при подаче ее посредством бетоноводов с нескольких сторон: А, Б, В индексы схем; 1, 2, 3 этапы продвижения смеси

Образованный конус бетонной смеси, испытывая меньшее сопротивление, стремится подниматься в вертикальном направлении. Когда масса столба бетонной смеси над устьем бетоновода превысит критическое значение, происходит перераспределение давления и смесь распространяется в горизонтальном направлении. Учитывая то, что высота полости относительно диаметра бетоноводов незначительна, то влияние столба бетонной смеси тоже незначительно, при этом в каждый момент времени критическая сила внутреннего трения уже уложенного слоя бетонной смеси становится все меньше силы тяжести верхних слоев, что побуждает смесь к движению горизонтальными потоками по площади полости, в итоге достигая горизонта при соприкосновении с верхней поверхностью полости (Рис.2.9сх.В). При достижении верхней плоскости полости гарантированный уклон, потока бетонной смеси, выравнивается, не образуя при этом воздушных включений. Данный эффект был бы невозможен при применении вибрационных воздействий.

Влияние включений

Наличие технологических прокладок в полости значительно меняет процесс ее заполнения. Помимо дополнительного воздействия на смесь сил трения по поверхности включений, происходит изменение направления движения потоков. Теоретически, при установившемся движении, смесь, преодолевая силы трения, должна как бы обволакивать включения, после чего раздвоившейся поток должен сходиться. При этом угол наклона распространения смеси должен значительно уменьшиться. Таким образом, включения косвенно выполняют функцию верхней поверхности полости, вследствие чего, после превышения смесью верхнего уровня включений, угол стремится к горизонту. Однако, на границе раздвоившегося потока возможно образование воздушных включений т.к. динамическая вязкость потоков не всегда перекрывает силы трения на поверхности включений.

2.4 Определение показателя качества заполнения полости и его оценка

Для определения качества заполнения полости наряду качественными характеристиками необходимо иметь и количественный показатель. Таким показателем можно принять коэффициент заполнения полости K_n , который определяется как:

$$K_n = K_s \times K_v \times K_o, \quad (2.4)$$

где: K_s – коэффициент заполнения площади контакта бетонной смеси с днищем оборудования;

K_v - коэффициент заполнения объема полости;

K_o - коэффициент заполнения площади основания полости;

$$K_s = K_o = \frac{S_3}{S_{\text{общ}}}, \quad (2.5)$$

где: S_3 - площадь фактического контакта пятна бетонной с днищем аппарата или основанием полости;

$S_{\text{общ}}$ – площадь днища аппарата или основания полости.

Следует учитывать, что значения S_3 и $S_{общ}$ для основания и днища могут быть различны, и принимаются для каждого случая отдельно.

$$K_v = \frac{V_3}{V_{общ}}, \quad (2.6)$$

где: V_3 - объем фактического заполнения полости бетоном;

$V_{общ}$ - объем полости.

Фактические площадь и объем полости определяются по следующим формулам:

$$S_3 = S_{общ} - S_{пор}, \quad [M^2], \quad (2.7)$$

$$V_3 = V_{общ} - V_{пор}, \quad [M^3], \quad (2.8)$$

Где: $S_{пор}$ – площадь незаполненных участков пятна контакта с поверхностью;

$V_{пор}$ – объем незаполненных участков полости.

Подставим все значения в формулу (2.4) и получим:

$$K_{\Pi} = \frac{S_{общ} - S_{пор}}{S_{общ}} \times \frac{V_{общ} - V_{пор}}{V_{общ}} \times \frac{S_{общ} - S_{пор}}{S_{общ}}, \quad (2.9)$$

Перечисленные выше формулы позволяют определить качество заполнения полости только на прозрачных моделях в процессе и по завершению процесса бетонирования, но по ним невозможно спрогнозировать конечный результат или подобрать начальные рациональные параметры разрабатываемой технологии которые также необходимо моделировать.

Для решения данной задачи были выявлены факторы влияния характеристик и параметров бетонирования на качество заполнения полости и построена функция зависимости от этих переменных:

$$K_n = F(v_{ист}, B, V, P, \Pi, Z), \quad (2.10)$$

где $v_{ист}$ – скорость истечения бетонной смеси, м/ч;

B – зависимость расположение устья бетоноводов по площади;

V – зависимость влияния наличия включений в полости;

P – зависимость от реологических свойств бетонной смеси;

Π – Влияние величины подпора столба бетонной смеси

Z – Влияние величины зазора.

1. Скорость истечения бетонной смеси

$$v_{ист} = \frac{P}{\sum F}, \quad [M/ч], \quad (2.11)$$

где P - производительность подачи смеси бетононасосом, $\text{м}^3/\text{ч}$;

F – суммарная площадь поперечного сечения бетоноводов, м^2 .

Критерий качества заполнения полости должен выбираться из условий минимальных трудозатрат и максимальной производительности. Однако предполагается следующая зависимость: что $K_n \rightarrow \max$, когда $v_{\text{ист}} \rightarrow \min$, $v_{\text{ист}} \in [5 - 40]$. Отсюда следует, что чем меньше производительность бетононасоса, тем выше K_n , исходя из этого, следует повышать производительность при сохранении минимальной требуемой скорости истечения бетонной смеси путем увеличения суммарной площади сечения бетоноводов. Это достигается двумя способами: увеличением диаметра сечения бетоновода или увеличением количества подающих бетоноводов. Из этого следует, что нужно стремиться к максимальному количеству бетоноводов подающих бетонную смесь из условия технического разумного количества.

2. Зависимость расположение устья бетоноводов по площади

Определение расположения устьев бетоноводов можно охарактеризовать двумя соотношениями:

- Величина заглубления бетоновода в полости относительно величины диаметра бетоновода.
- Величина заглубления бетоновода в полости относительно значения линейной величины размера полости по оси бетоновода.

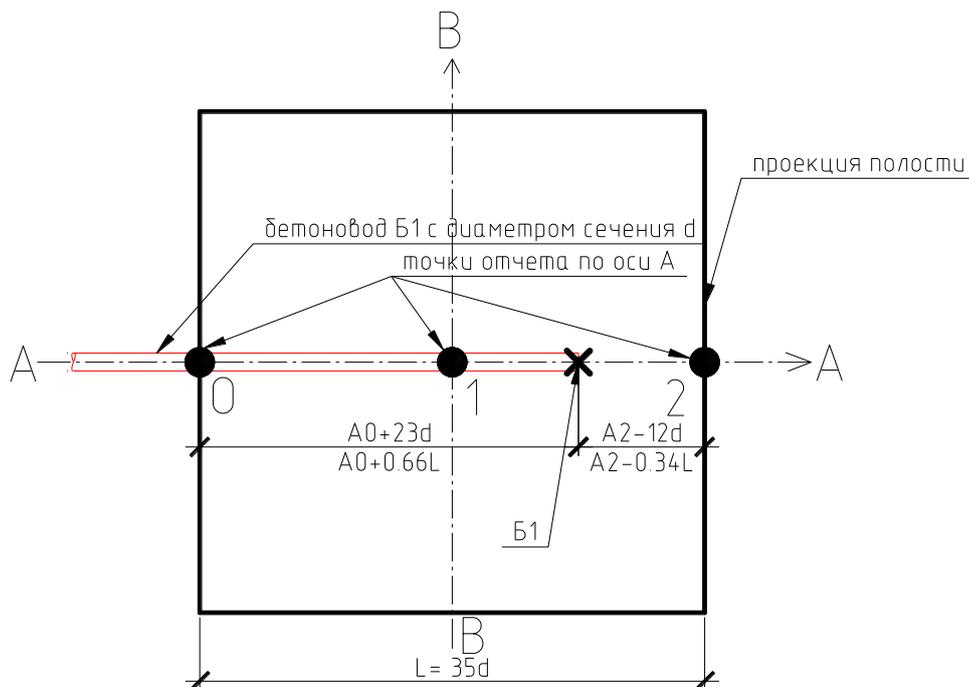


Рис.2.10 Схема определения расположения устья бетоновода в полости

Например, величину расположение бетоновода (Рис. 2.10) можно описать следующим выражением:

$$B_1 = A0 + 23d, \quad (2.12)$$

$$\text{либо } B_1 = A2 - 0,34L, \quad (2.13)$$

где, B_1 - расположение устья бетоновода с диаметром сечения d ;

A - ось по которой расположен бетоновод с длиной L ;

$0, 2$ - точки отсчета по оси A .

Оптимальные зависимости значений расположения бетоноводов будут определены в ходе модельных экспериментов (Глава 3). Применение данной схемы описания расположения бетоноводов позволит переносить оптимальные значения размещения бетоноводов на рассматриваемую полость.

3. Зависимость влияния наличия включений в полости

Наличие включений существенно влияют на качество заполнения полости, эту зависимость можно описать следующим выражением:

$$\begin{cases} K_n \rightarrow \max, \text{ когда } B \rightarrow 0 \\ B = n \times p \times \Phi \end{cases}, \quad (2.14)$$

где n - коэффициент заполнения включениями объема полости, который определяется как $n = \frac{V_{\text{вкл}}}{V_{\text{общ}}}$, где $V_{\text{вкл}}$ - объем включений в полости;

p - расположение включений в объеме (по высоте) полости;

Φ - коэффициент формы включения (при круглом сечении $\Phi=0,5$, квадратном $\Phi=1$, сложной формы A принимаем 2).

Расположение включений p (Рис. 2.11) можно описать как зависимость от приближения включения к верхней плоскости полости и выразить ее математически следующим образом:

$$p = \frac{d}{a} \times k_{\text{фр}} \times k_n \quad (2.15)$$

где $d(h)$ - размер поперечного сечения включения, м;

a - размер зазора между днищем и включением, м;

$k_{\text{фр}}$ - коэффициент зависимости зазора с размером мелкого заполнителя M_k (если $a \neq 0$ и $a > 1,5M_k$, то $k_{\text{фр}} = 1$);

k_n -коэффициент зависящий от соотношения высоты полости H к размеру включения (если $H/d \geq 2$ то $k_n=1$).

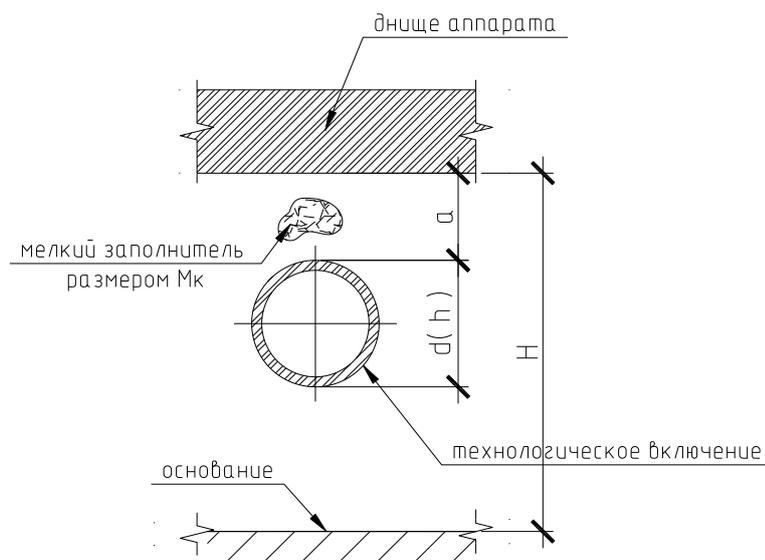


Рис. 2.11 Схема фрагмента полости с трубчатыми включениями

Таким образом, подставив все составляющие в формулу(2.14) получим

$$B = \frac{V_{\text{вкл}}}{V_{\text{общ}}} \times \frac{d}{a} \times k_{\text{фр}} \times k_n \times \Phi \quad (2.16)$$

4 Зависимость от реологических свойств бетонной смеси

Данный параметр применим только для бетонных смесей не подлежащих принудительному уплотнению (СУБС). Характеристикой P является распыл бетонной смеси обратного конуса Абрамса. Коэффициент принимается по таблице 2.1.

Таблица 2.1

Распыл	Значение коэффициента P	
	Значение P	Примечание
P5 (распыл 56-62см)	0,8	По ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия.
P6 (распыл более 62см)	1	
P7 (распыл более 70мм)	1,2	По SVB-Richtlinie

5 Влияние подпора

Для качественного заполнения полости необходим гидростатический подпор бетонной смеси (Рис 2.12). Количественно это влияние можно определить коэффициентом подпора.

$$\Pi = \frac{H_{\text{под}}}{H}, \quad (2.17)$$

где $H_{\text{под}}$ -высота подпорной стенки, м.

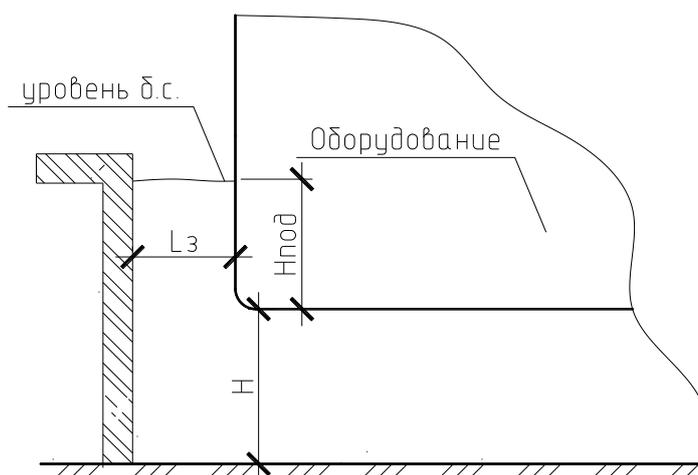


Рис.2.12 Схема определения высоты подбора бетонной смеси

6. Влияние величины зазора

Требования к зазору, в целом такие же, как подпорной стенке. При этом величина зазора $L_з$ должна превышать величину крупного заполнителя как минимум в три раза. Количественно данный коэффициент выражается:

$$З = \frac{L_з}{H} \quad (2.18)$$

Таким образом, выявлены критерии влияющие на качество заполнения полости K_n , которые позволяют прогнозировать конечный результат рассматриваемой технологии бетонирования полостей. Составлена формула позволяющая количественно определять качество заполнения полости.

Выводы по второй главе

1. Разработана классификация существующих и возможных способов бетонирования полостей под днищами промышленных аппаратов. Показаны теоретические предпосылки для разработки новой технологии.
2. Разработана новая нагнетательная технология, которая отличается от существующих применением бетононасосной техники подающей самоуплотняющуюся смесь в центр полости посредством бетоновода. Предполагаемыми преимуществами представленной технологии является снятие ограничений по высоте полости и возможность качественного заполнения объема при наличии технологических включений в толще

бетонируемой полости, уменьшение трудозатрат по сравнению с существующими способами.

3. Построена физическая модель заполнения горизонтальных полостей путем нагнетания самоуплотняющейся бетонной смеси. На основании этой физической модели описан процесс заполнения полости посредством подачи СУБС бетоноводами в толщу полости с нескольких сторон и наличия в полости технологических включений.
4. Выявлены параметры, влияющие на качество заполнения полости K_n , которые позволяют прогнозировать конечный результат рассматриваемой технологии бетонирования полостей. Данными параметрами являются: $v_{ист}$ – скорость истечения бетонной смеси, м/ч; B – зависимость расположения устья бетоноводов по площади; B – зависимость влияния наличия включений в полости; P – зависимость от реологических свойств бетонной смеси; Π – влияние величины подпора столба бетонной смеси; Z – влияние величины зазора. Выведена формула, позволяющая количественно определять качество заполнения полости K_n .

ГЛАВА 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ БЕТОНИРОВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ

3.1 Экспериментальная установка для проведения моделирования технологических процессов заполнения полостей

С целью определения рациональных параметров предложенной новой технологии бетонирования полостей, а также возможности реализации данной технологии в реальных условиях, был поставлен модельный многофакторный эксперимент[61].

В ходе проведения экспериментальных работ по разработке технологии бетонирования полостей под промышленными аппаратами, была разработана экспериментальная установка (далее Установка). Установка (Приложение А) создана с целью экспериментального исследования на малых моделях многоразового использования процессов бетонирования полостей под днищем аппаратов различной специфики, определения рациональных технологических параметров бетонирования полостей и разработки рекомендаций по выбору оборудования и оснастки для последующего включения в диссертационную работу (Технологический регламент, Спецтехнология - Приложения В, Г).

Установка предназначена для решения следующих задач:

- изучение особенностей процессов распространения бетонной смеси в закрытом пространстве, насыщенном технологическими проходками;
- отработка технологических параметров бетонирования полостей;
- уточнение оптимальных реологических свойств бетонных смесей.

Требования к установке

При разработке Установки учитывались следующие требования:

- 1) Все расчетные размеры, технологические характеристики и параметры Установки должны назначаться с учетом масштабного коэффициента 1:5 по отношению к натурным размерам;

2) Для обеспечения работоспособности установки в ее состав должно входить:

- устройство регулирования давления и скорости подачи бетонной смеси;
- шланги, имитирующие бетоновод;
- средства обслуживания;
- регистрирующая и измерительная аппаратура;
- бетоносмесительная аппаратура;
- имитационный макет полостей (далее макет).

3) Для моделирования процесса бетонирования полостей необходим имитатор полостей, который должен включать следующие элементы, обладающие необходимыми свойствами:

- жесткое основание, обладающее схожим по сцеплению с бетоном качеством поверхности стальных конструкций;
- съемные светопрозрачные стенки, светопроводимость не менее 95%;
- съемную светопрозрачную крышку;
- съемные имитаторы труб (включений);
- регуляторы высоты полости;
- патрубki- имитаторы бетоноводов.

4) Эксплуатация Установки должна производиться при следующих характеристиках окружающей среды:

- температура окружающего воздуха от 0 до +40 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха не более 80 % при 25°С;
- атмосферное давление от 80,6 до 106,7 кПа (от 605 до 800 мм рт. ст.).

Участок проведения испытаний

Место проведения испытаний - экспериментальный участок ООО «ТЕХНОАРМ+» на территории ЗАО «Метробетон», г. Санкт-Петербург. Данный участок обладает всеми требуемыми характеристиками, необходимыми для проведения экспериментальных работ, и технологическими системами, что обеспечивает необходимые условия для проведения экспериментальных работ на

установке. На участке имеется необходимый набор средств малой механизации и ручного инструмента.

Высотный уровень покрытия на участке составляет 5,58м, что позволяет смонтировать устройство, высотные габариты которого составляют 4,0м, и проводить на нем испытания.

В состав Установки входит (см. Приложение А):

- имитационный макет полостей с прозрачной верхней стенкой (далее макет);
- устройство регулирования давления и скорости подачи бетонной смеси;
- шланги, имитирующие бетоновод;
- средства обслуживания;
- регистрирующая и измерительная аппаратура;
- бетоносмесительная аппаратура;

Макет представляет собой фрагмент полости под корпусом оборудования в масштабе 1:5. Конструкция макета представляет собой параллелепипед объемом 29,4л, собирающийся из жесткого основания (бакелитовая фанера размером 850x850мм) и элементов из органического стекла толщиной 12мм со светопропускной способностью 95%, что при проведении испытаний обеспечивает полный обзор за заполнением полости. Макет содержит в себе все элементы реальной полости под имитируемым корпусом, в том числе имитаторы труб, которые создают одну из основных проблем заполнения полости. Эти элементы являются съемными.

Конструкция макета позволяет изменять высоту зазора, что в совокупности со съемными дополнительными элементами дает возможность имитировать различные варианты полостей для отработки технологии их заполнения.

Нагнетательное устройство состоит из следующих элементов:

- цилиндра с поршнем (имитирующего работу бетононасоса);
- полиспастной системы для ступенчатой регулировки скорости перемещения поршня;
- рычажного механизма, создающего усилие для перемещения поршня, и обеспечивающего точную регулировку скорости

перемещения поршня.

Цилиндр представляет собой полипропиленовую трубу с внутренним диаметром 202мм и высотой 1300мм. Цилиндр предназначен для загрузки бетонной смеси и её дальнейшей транспортировки в макет посредством поршня и бетоновода. В полости цилиндра по всей высоте перемещается поршень, закрепленный на штоке. Поршень перемещается с помощью рычажной системы. Герметизация в процессе выдавливания бетонной смеси достигается за счет резиновой диафрагмы, установленной на поршне.

В нижней части цилиндра установлено распределительное устройство. Оно представляет собой металлическую четырехгранную усеченную полую пирамиду, на нижнем обресе которой располагаются четыре патрубка, к которым крепятся бетоноводы. Такая конструкция позволяет использовать при бетонировании различное количество бетоноводов и определить их оптимальное количество для различных конфигураций полостей. Неиспользуемые патрубки заглушаются винтовыми пробками.

На концах бетоноводов монтируются металлические трубки диаметром 20-25мм, в зависимости от рабочего сечения имитируемого бетоновода.

Для создания давления в цилиндре используется рычажная система. Рычаг, длиной 4м, представляет собой деревянную балку сечением 150x50мм в металлической обойме из уголков. Рычаг крепится шарнирно к колонне на высоте 2300мм. По центру рычага располагается шарнир для крепления штока поршня. На конце рычага установлена серьга с полиспастной системой, которая при необходимости может перемещаться вдоль рычага для точной регулировки скорости перемещения поршня в цилиндре. Для ограничения горизонтальных смещений на конце рычага установлены вертикальные стойки-ограничители, в которых перемещается балка рычага.

Полиспастная система состоит из шести блоков - три закреплены на основании, три - на рычаге, и оснащена металлическим тросом диаметром 3мм. Усилие в системе полиспастов может создаваться двумя устройствами: барабаном с ручным приводом или электролебедкой.

Шарнирное крепление узлов и элементов установки позволяет сохранять цилиндру вертикальное положение во время перемещения поршня. Рычажное устройство вместе с полиспастной системой дает возможность существенно уменьшить прилагаемое усилие на ручке барабана для создания давления в цилиндре, и вместе с тем снизить скорость вращения барабана, уменьшив, таким образом, погрешность при создании требуемой скорости перемещения поршня.

Бетоносмесительное устройство состоит из металлической емкости объемом 50л, и ручного растворосмесительного аппарата, мощностью 1,5кВт, оборудованного металлическим венчиком (насадкой).

Конструкция установки также включает дополнительную оснастку, в том числе загрузочную воронку, оборудование для определения реологических свойств бетонной смеси, мойку для мытья оборудования, измерительное оборудование.

Измерительное и регистрационное оборудование.

Для измерения параметров технологического процесса бетонирования, установка оснащалась следующими элементами:

- циферблат для измерения угловой скорости перемещения рычага,
- линейная разметка основания макета;

Для регистрации показаний измерительных приборов, а также для фиксации характера заполнения полостей и дальнейшего его анализа применялась цифровая видеокамера.

3.1.1 Принципиальная схема работы Установки

Принцип работы Установки заключается в моделировании процесса бетонирования конструкции при помощи устройства, создающего усилие, с дальнейшей передачей усилия в цилиндр и подачей бетонной смеси из цилиндра в смоделированную конструкцию.

Последовательность проведения испытания на установке состоит из следующих этапов:

1. Сбор в рабочее положение Установки;

2. Приготовление бетонной смеси с заданными реологическими свойствами и их проверка;
3. Загрузка смеси в цилиндр;
4. Создание нагрузки с требуемой скоростью истечения;
5. Контроль заполнения макета и его анализ;
6. Помывка оборудования.

Схема работы Установки показана в Приложении А.

3.1.2 Обоснование размеров основных элементов экспериментальной установки для моделирования процессов бетонирования полостей

За основу процесса, моделируемого на установке, принята предлагаемая технология бетонирования полостей с применением промышленных бетононасосов производительностью 5-40м³/час. За рабочую гипотезу процесса моделирования принято положение, что характер заполнения полости окажется подобным, если сохранить в натуре и макете одинаковую скорость истечения бетонной смеси из бетоновода - шланга. Тогда из гидравлической теории подобия[78], следует, что необходимо с изменением масштаба пропорционально изменять геометрические величины системы полость - бетоновод.

Расчет характеристик модели и технологических элементов установки

Базовый линейный геометрический масштабный коэффициент принят равным 5-ти. Соответственно для объемных величин он будет равен $5^3=125$, для плоскостей $5^2=25$. Из этих условий находим геометрические размеры макета полости. С учетом того, что кинематический масштабный коэффициент равен линейному геометрическому[36], то время заполнения также должно происходить в 5 раз быстрее, чем в натуре, тем самым масштабный коэффициент для производительности будет равен $5^2=25$. Из этих условий находим искомые величины производительности в модельном эксперименте.

Для нахождения скорости истечения необходимо знать две характеристики:

- производительность системы- P , дм³/ч;
- площадь сечения бетоновода – F , дм².

Скорость истечения (v , дм/ч) бетонной смеси находим по формуле [36]:

$$v = \frac{P}{F} \quad (3.1)$$

Например для производительности в $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ и диаметра бетоновода 125 мм ($F = 1,23 \text{ дм}^2$) скорость истечения будет составлять:

$$v = \frac{5000}{1,23} = 4065 \frac{\text{дм}}{\text{ч}} \text{ или } 67,8 \frac{\text{дм}}{\text{мин}}$$

Таким же образом производится расчет для производительности в $10,20$ и $40 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для макета скорость истечения с учетом линейного масштабного коэффициента 5 будет составлять:

$$v = \frac{200}{0,49} = 4065 \frac{\text{дм}}{\text{ч}} \text{ или } 67,8 \frac{\text{дм}}{\text{мин}}$$

Как видно из расчета, скорость истечения в натуре и модели соответствуют друг другу, что подтверждает рабочую гипотезу.

Скорость хода поршня (v_n , дм/ч) находится также по формуле (3.1). Площадь поршня составляет $2,7 \text{ дм}^2$. Скорость конца рычага должна быть в два раза больше скорости движения поршня. Зная диаметр барабана, и соответственно длину его окружности, через угловую скорость находим частоту вращения барабана, необходимое для создания моделируемой скорости истечения бетонной смеси, тем самым и производительность бетононасоса.

Ниже приведены результаты расчета геометрических и кинематических характеристик макета и технологических элементов установки. (Таблица 3.1).

Таблица 3.1.

Характеристики модели

№ п/п	Характеристика	Натура	Макет	Соотношение	Примечание
1	Площадь	$12,25 \text{ м}^2$	$0,49 \text{ м}^2$	25	-
2	Высота	$0,3 \text{ м}$	$0,06 \text{ м}$	5	-
3	Объем	$3,675 \text{ м}^3$	$0,0294 \text{ м}^3 = 29,4 \text{ л}$	125	-
4	Диаметр бетоновода	125 мм	25 мм	5	-
5	Площадь сечения бетоновода	$122,6 \text{ см}^2$	$4,9 \text{ см}^2$	25	-
6	Производительность бетононасоса	$5 \text{ м}^3/\text{ч} = 1,39 \text{ л/с}$ $10 \text{ м}^3/\text{ч} = 2,78 \text{ л/с}$ $20 \text{ м}^3/\text{ч} = 5,56 \text{ л/с}$	$0,2 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,055 \text{ л/с}$ $0,4 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,111 \text{ л/с}$ $0,8 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,222 \text{ л/с}$	25	-

№ п/п	Характеристика	Натура	Макет	Соотношение	Примечание
		40 м ³ /ч=11,12 л/с	1,6 м ³ /ч=0,444л/с		
7	Время заполнения	44мин 22 мин 11 мин 5,5 мин	8,82 мин 4,41 мин 2,2 мин 1,1 мин	5	-
8	Скорость истечения	678см/мин=11,3см/с 1356см/ мин =22,6см/с 2712см/ мин =45,2 см/с 5424см/ мин =90,4 см/с	678см/мин=11,3см/с 1356см/ мин =22,6см/с 2712см/ мин =45,2 см/с 5424см/ мин =90,4 см/с	1	-
9	Площадь поршня	-	270см ²	-	-
10	Ход поршня	-	1,3м	-	-
11	Количество бетоноводов	1-4	1-4	1	-
12	Скорость хода поршня	-	2,05мм/с=12,5см/мин 4,1мм/с=25см/мин 8,2 мм/с=50см/мин 16,4мм/с=100см/мин	-	-
13	Скорость конца рычага	-	0,25м/мин 0,5м/мин 1,0м/мин 2,0м/мин	-	-
14	Диаметр барабана	-	110мм	-	-
15	Средняя длина окружности барабана	-	0,35м	-	-
16	Частота вращения барабана	-	1об./84с 1об./42с 1об./21с 1об./10с	-	Без полиспафта
17	Количество блоков в полиспафтной системе	-	0-6	-	-

3.2 Разработка состава бетонной смеси для проведения экспериментов

Для проведения технологических испытаний по бетонированию необходима бетонная смесь с большой живучестью, обладающая заданными реологическими свойствами. Бетонные смеси, применяемые в массовом строительстве, обычно, имеют живучесть смеси порядка 2-3 часов, чего недостаточно для проведения многократных испытаний. Поэтому следовало провести ряд экспериментов для подбора модифицированного состава бетонной смеси, способного сохранять заданные реологические свойства в течение длительного времени. На рынке

добавок имеются добавки, способные сохранять живучесть смеси до 72 часов[80;81; 102]. Такие добавки по требованиям надежности должны в 2 раза и более увеличивать время потери подвижности бетонной смеси от исходного значения до 2 см (при температуре окружающего воздуха $20\pm 2^\circ\text{C}$)[69].

Замедляющие действия схватывания бетона этих добавок основано на замедлении гидратации С3А-фазы цемента[9]. Таким образом, замедляется обычная гидратация цемента и гидратационное выделение тепла. Замедлители схватывания действует особенно эффективно при производстве конструктивных элементов в большом объеме (большой объем смеси), при этом достигаются высокие конечные физико-механические свойства бетона[65; 119]. Показатели известных замедлителей схватывания приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Характеристики типовых замедлителей схватывания

Материал	% Мц	Живучесть, ч	Стоимость кг, руб	Приведенная стоимость*, руб.
SikaTard®-930	0,4	8	83,12	132,99
	1	20		332,48
	2	72		664,95
SikaRetarder	0,1-1,8	6-40	67,21	26,9-483,84
BASFPozzolith 433	0.1-0.7	8-48	77,23	30,8-215,6
ЛСТ	2-5	До 32	5,02	104
Нитрилотриметиленфосфоновая кислота НТФ	0,02-0,15	8	-	-

* Стоимость добавки для 1 м^3 бетонной смеси при количестве цемента в 500кг на 1 м^3

Как видно из таблицы, ни один из приведенных выше замедлителей не может обеспечить сохранность подвижности смеси на протяжении времени, необходимого для проведения модельных экспериментов (120ч), при этом стоимость эффективных замедлителей высока.

Для проведения экспериментов был принят базовый состав бетонной смеси (таблица 3.3) представляющий собой самоуплотняющуюся мелкодисперсную бетонную смесь с расплывом обратного конуса не менее 630мм (P6, SF1-2), и с расплывом на вискозиметре Сутгарда 225 - 240мм. Особой характерностью предлагаемой бетонной смеси является максимальная крупность фракции применяемых сырьевых материалов, принятой 2,5мм (что необходимо для

проведения модельных экспериментов - прохождение данной смеси по бетоноводам диаметром 20-25мм).

Таблица 3.3

Базовый состав замеса		
Материал	На 1 м ³	10л
Цемент М500(ЦЕМ I), кг	500	6,0
Песок Габбродиабазовый ≤2,5мм, кг	700	6,0
Песок ≤2,5мм, кг	500	5,0
Песок ≤0,63мм, кг	250	2,5
МКУ-85, кг	100	1,0
Вода, л	217	2,17
BASF Glenium, пластификатор, кг	14	0,14

Для обеспечения длительной жизнеспособности в экспериментах использовался базовый состав с 7-ю разновидностями замедлителей схватывания. В качестве замедлителей применялись сахар, декстрин кукурузный, спирт медицинский и воздействие отрицательной температуры. Данные составы приведены ниже:

- Состав 1- базовый.
- Состав 2- базовый под влиянием отрицательной температуры (морозильная камера, $t=-8^{\circ}\text{C}$);
- Состав 3 Сахар 0,05% от массы цемента ($M_{\text{ц}}$);
- Состав 4 Сахар 0,2% $M_{\text{ц}}$;
- Состав 5 Сахар 1,0% $M_{\text{ц}}$;
- Состав 6 Декстрин (сухое вещество) 0,1% $M_{\text{ц}}$ (в виде 20% раствора);
- Состав 7 Декстрин (сухое вещество) 0,3% $M_{\text{ц}}$ (в виде 20% раствора);
- Состав 8 Спирт 2% $M_{\text{ц}}$.

Результаты испытаний на жизнеспособность бетонной смеси приведены в таблице 3.4. Для хранения составов применялись герметичные емкости объемом 1л. Наиболее действенными оказались составы с добавлением декстрина и максимальной концентрации сахара (Составы 5-7). Эксперименты показали, что составы 5 и 7 через четверо суток потеряли подвижность на 10-15 %. С целью продления жизнеспособности этих смесей в них были добавлены водные

растворы сахара и декстрина соответственно, после чего их подвижность составляла 85-90% от первоначальной еще в течение 5-ти суток.

Таблица 3.4

Результаты испытаний бетонных смесей

Время с начала замеса		Номер состава																					
		1		2		3		4		5		6		7		8							
ч	сутки	Ø расплыва на вискозиметре Сутгарда, мм/%																					
0	0	235	1,00	235	1,00	235	1,00	235	1,00	235	1,00	235	1,00	235	1,00	235	1,00						
7	0,25	200	0,85	250	1,06	231	0,98	219	0,93	214	0,91	231	0,98	235	1,00	218	0,93						
12	0,5	140	0,60	250	1,06	218	0,93	219	0,93	203	0,87	227	0,96	233	0,99	214	0,91						
24	1	схватился						212	0,90	199	0,85	218	0,93	219	199	130	0,55						
48	2							192	0,82	210	0,89	219	0,93	схватился									
72	3							192	0,82	201	0,86	215	0,92										
84	3,5							188	0,80	197	0,84	204	0,87										
96	4							201	0,85	185	0,79	212	0,90										
108	4,5							188	0,73	180	0,77	204	0,87										
120	5							172	0,73	181	0,77	204	0,87										
132	5,5							171	0,65	155	0,66	204	0,87										
144	6							154	0,65	118	0,50	204	0,87										
156	6,5							154	0,65	схватился		204	0,87										
168	7							154	0,65			204	0,87										
216	9							схватился								124	0,53	схватился		133	0,57	схватился	

По полученным результатам построены кривые зависимости время-% от первоначальной подвижности (Рис. 3.1, 3.2).

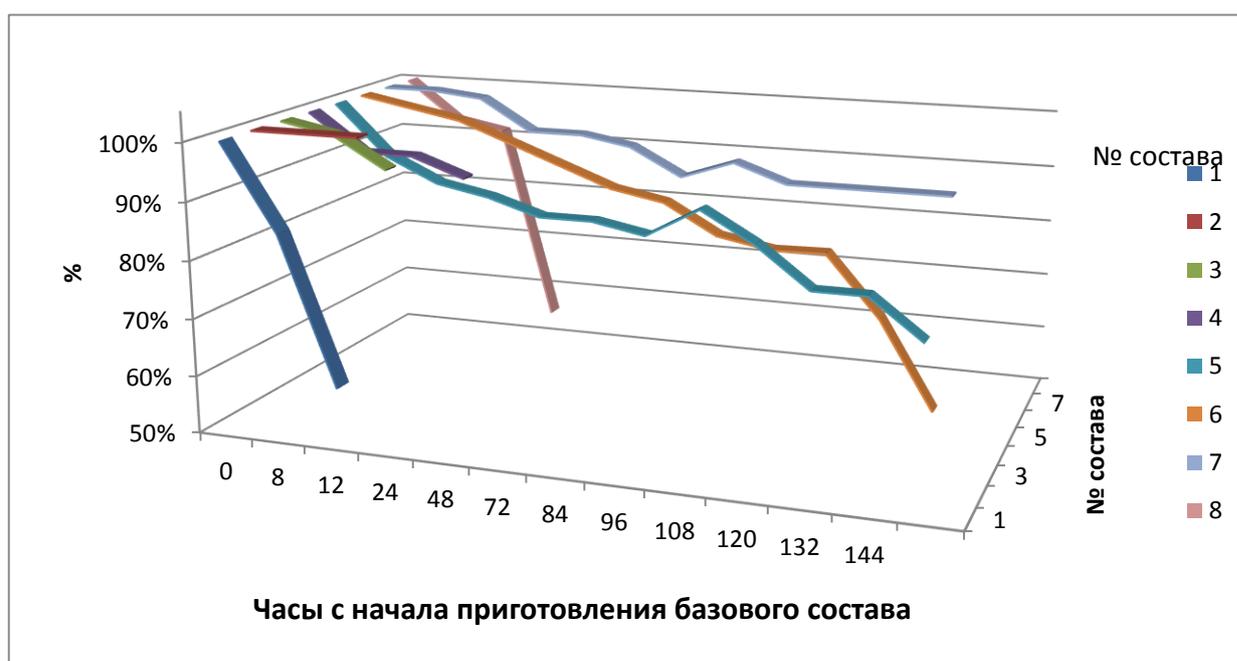


Рис.3.1 График сохранения подвижности испытываемых составов

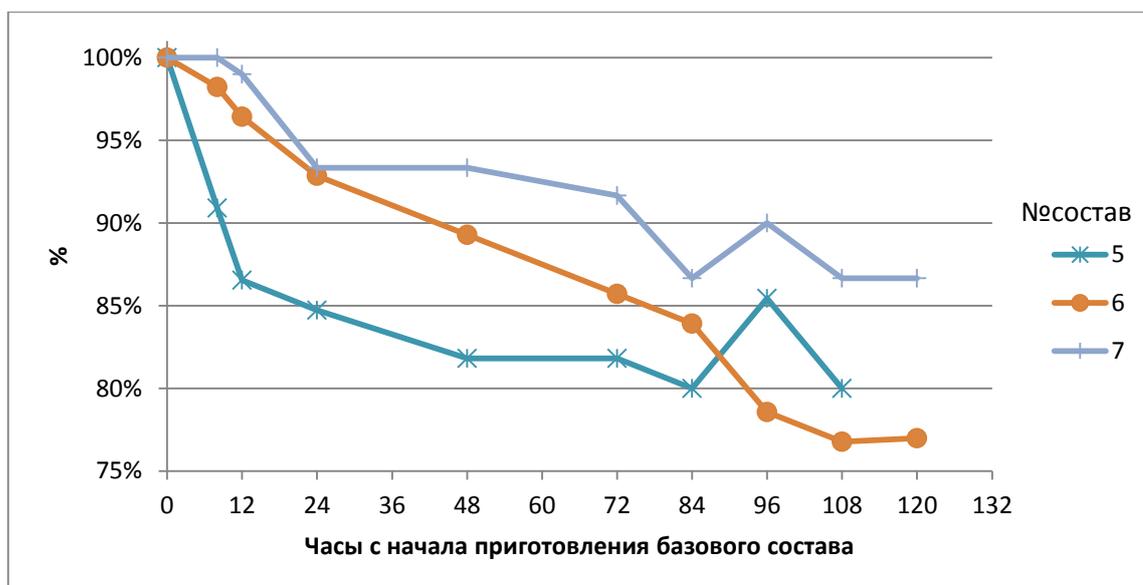


Рис.3.2 График сохранения подвижности составов проходящих по критерию сохранения подвижности во времени

Для проведения модельных технологических экспериментов был выбран 7-й состав (декстрин (сухое вещество) 0,3% $M_{ц}$ (в виде 20% раствора)). Для этого состава была определена осевая прочность бетона при сжатии в возрасте 28 и 90 суток, для чего была приготовлена дополнительная порция бетонной смеси в количестве 8л и были заформованы 7 стандартных кубов 100x100x100мм (Таблица 3.5).

Таблица 3.5

Прочность образцов на осевое сжатие состава №7

№ образца	Дата формовки	Дата испытаний	Возраст, сут	Линейные размеры, см	Плотность, кг/м ³	Разрушающая нагрузка, кН	Средняя прочность, Мпа
1	07.02.2014	07.03.2014	28	10x10x10	2016	500	4,5/0,01*
2					1999	400	
3					1987	416	
4					1996	468	
5	08.05.2014	90	90	10x10x10	2011	3030	31,7/0,63*
6					2002	3324	
7					1999	3155	

* В знаменатели показано отношение прочностей по сравнению с базовым составом в соответствующем возрасте (для 28 суток 45Мпа, для 90-50Мпа)

Таким образом, разработанный состав самоуплотняющегося мелкозернистой бетонной смеси обладает способностью длительного сохранения реологических свойств (до 10 суток), что позволяет его применять для проведения технологических экспериментов. Применение таких смесей позволяет проводить многократные технологические эксперименты на одной порции приготовленной

бетонной смеси, значительно сократить расход материалов, трудоемкость проведения экспериментов и получать достоверные результаты.

3.3 Методика проведения испытаний

3.3.1 Определение реологических свойств бетонной смеси

На основании полученных данных для проведения технологических испытаний по увеличению жизнеспособности смеси, был выбран базовый состав с добавкой декстрина в количестве $0,3\%M_{ц}$ (таблица 3.6).

Таблица 3.6

Базовый состав замеса на 50л

Материал	50л	Примечание
Цемент М500, кг	25,0	
Песок Габбродиабазовый $\leq 2,5$ мм, кг	35,0	
Песок $\leq 2,5$ мм, кг	25,0	
Песок $\leq 0,63$ мм, кг	12,5	
МКУ-85, кг	5,0	
Вода, л	6.85	
BASF Glenium, пластификатор, кг	0,7	
Раствор декстрина, л	4.0	0.09кг декстрина на сухое вещество

По окончанию перемешивания проводились испытания бетонной смеси на вискозиметре Сутгарда (Рис.3.3). После снятия цилиндра, растекания смеси составила 227мм. (Рис. 3.4).

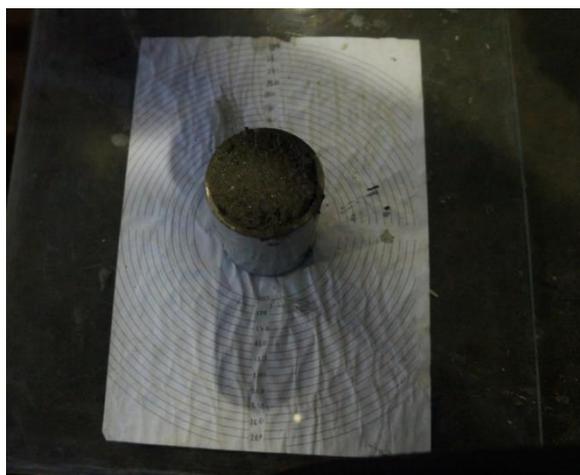


Рис.3.3 Вискозиметр Сутгарда со смесью

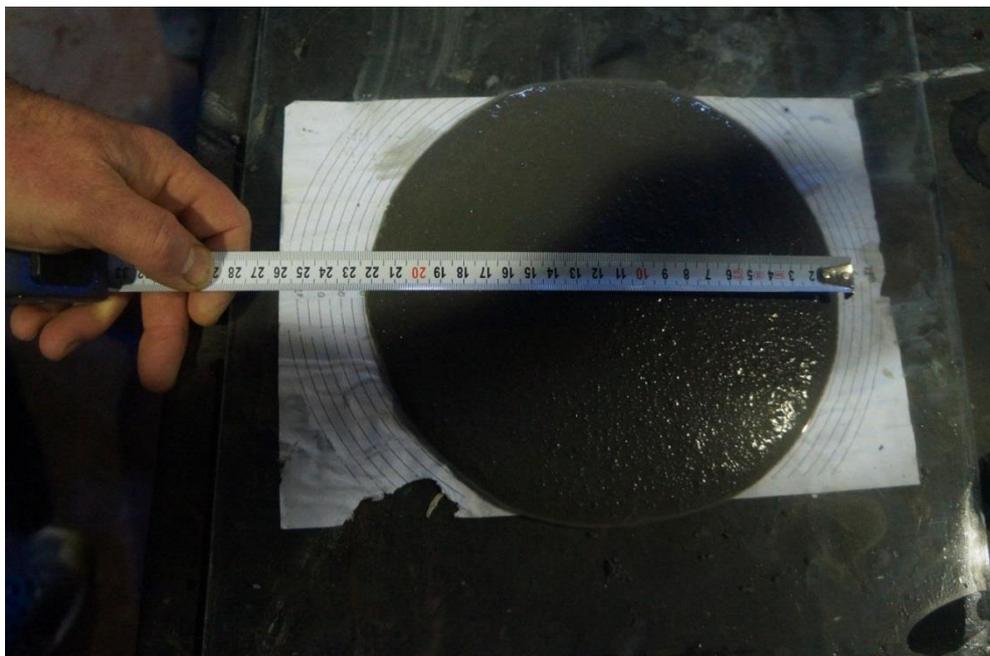


Рис.3.4 Расплыв на вискозиметре Сутгарда (227мм)

Для данного состава определялась подвижность бетонной смеси с применением обратного конуса Абрамса. Оборудование: состоит из конуса Абрамса из нержавеющей стали, плиты основания с гладкой поверхностью размерами 700*700 мм с нанесенными разметками окружностей от 500 мм до 700мм и центра плиты (для позиционирования конуса)(Рис. 3.5).



Рис.3.5 Заполненный смесью перевернутый конус Абрамса

При испытании рабочего состава на расплыв (Рис. 3.6) были получены следующие параметры:

- время достижения диаметра 500 мм-3с;
- диаметр расплыва-705мм;
- общее время растекания-55с.

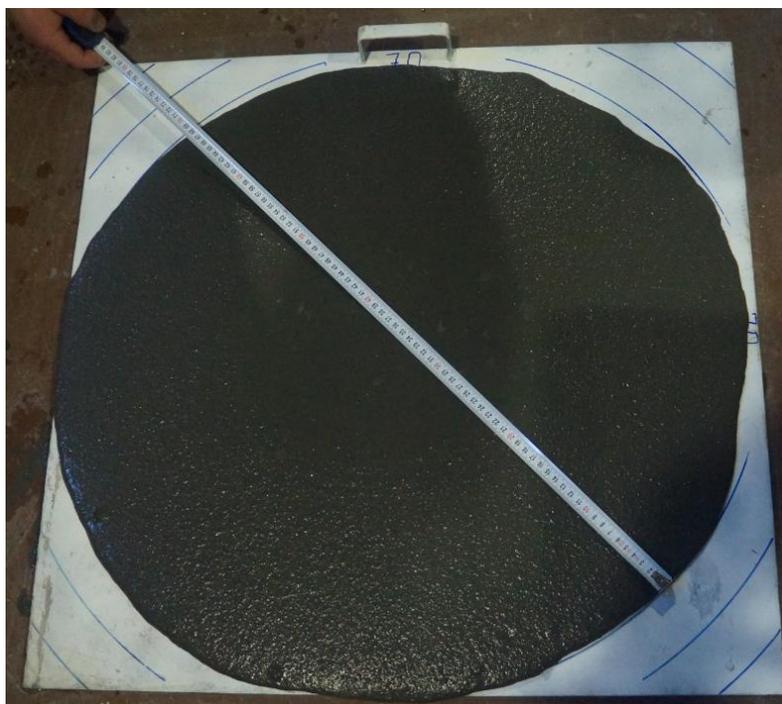


Рис.3.6. Испытания рабочего состава на расплыв.

Дополнительным испытанием по определению подвижности бетонной смеси являлась проверка возможности заполнения щелей бетонной смесью выбранного состава. Эксперименты проводились ввиду того, что моделируемая полость включает в свой объем трубопроводы, которые создают дополнительное сопротивление при заполнении бетонной смесью объема.

С этой целью было разработано и изготовлено испытательное приспособление – «клин испытательный ТА-КИ1» (Рис.3.7, 3.8). Он состоит из корпуса, заслонки и съемного прозрачного перекрытия. Корпус состоит из двух частей - загрузочная прямоугольная и конусная испытательная. Обе эти части равны по объему 7л (тем самым объем соразмерен стандартному конусу Абрамса). Испытательная часть имеет переменную высоту в виде клина, которая уменьшается по направлению перемещения смеси при снятии задвижки. Минимальная высота щели в конце клина составляет 1мм (величина зазора, предназначенного для удаления воздуха). На поверхности основания испытательной части приспособления нанесена разметка с шагом 100мм.

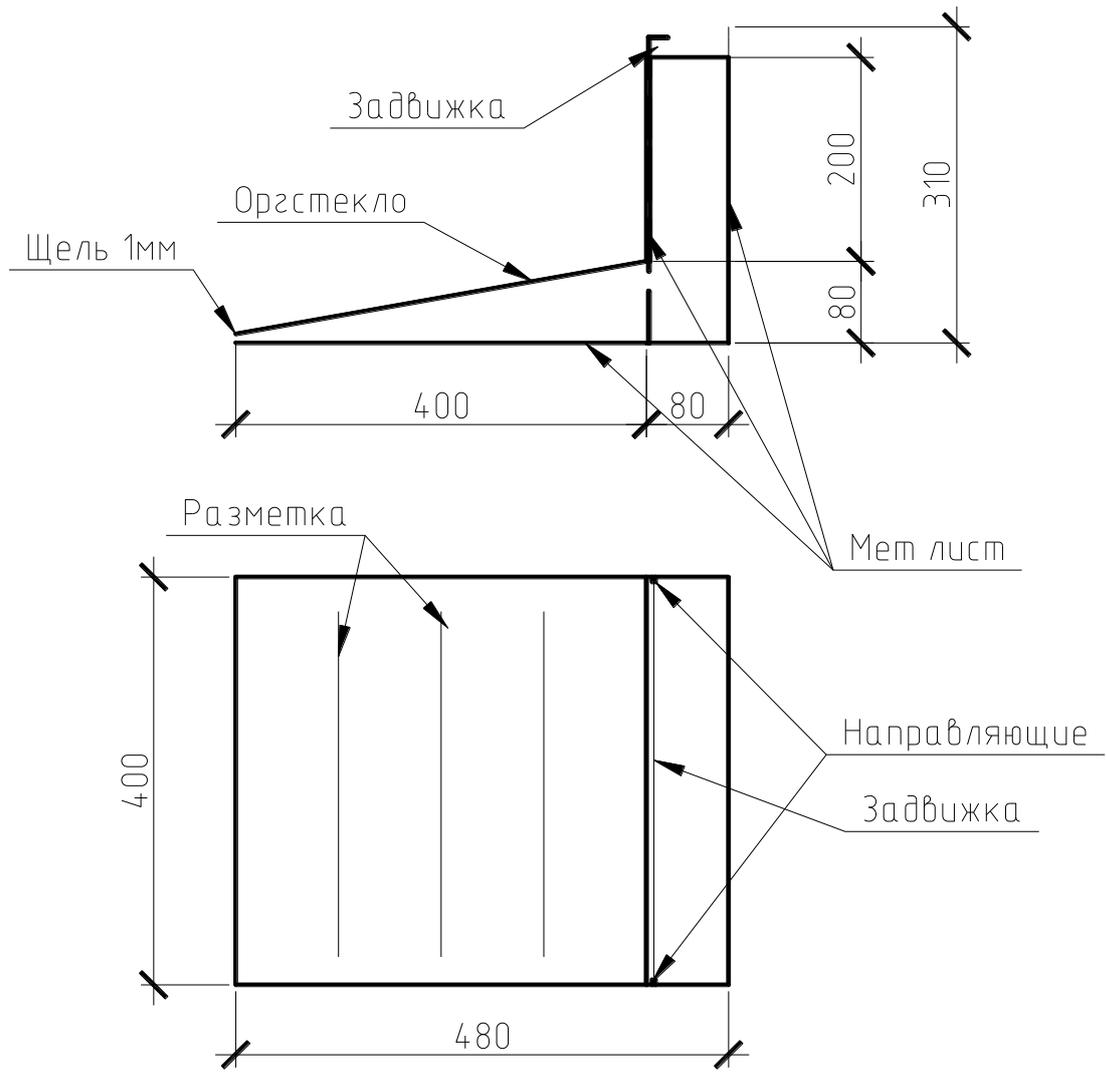


Рис.3.7 Схема приспособления ТА-КИ1



Рис.3.8 Клин испытательный ТА-КИ1

Проведение испытаний

Перед началом сборки, внутренние поверхности испытательного оборудования увлажняются. В собранное приспособление загружают приготовленную бетонную смесь. По окончании загрузки и выравнивания слоя бетонной смеси по верхнему уровню загрузочной части, задвижку поднимают с одновременным включением секундомера. По секундомеру фиксируется время прохождения смеси 100, 200, 300 и 400мм. После прекращения растекания смеси (не ранее чем через 45с) производится визуальный осмотр качества заполнения щели.

В результате испытания рабочего состава бетонной смеси были получены следующие данные: прохождение 100мм-0,5с (Рис.3.9); прохождение 400мм-7с (Рис. 3.10); заполнение щели 97% - 20 с.



Рис. 3.9 Прохождение 100мм



Рис. 3.10 Прохождение 400мм

Результаты испытаний мелкозернистой самоуплотняющейся бетонной смеси на приспособлении– «клин испытательный ТА-КИ1» показали, что это приспособление может быть использовано для испытаний аналогичных смесей, применяющихся для бетонирования сложных частей ответственных конструкций

3.3.2 Проведение экспериментов по заполнению полости

В связи с невозможность осуществления контроля процессов заполнения в натуральных условиях и малоизученностью процессов истечения бетонной смеси из бетоноводов было принято решение о проведении моделирования этих процессов

на макетах с прозрачной верхней крышкой. При этом рассматривалось влияние способов подачи бетонной смеси и параметров бетонирования на качество заполнения полостей. Эти параметра делились на фиксированные и изменяемые(искомые оптимальные технологические характеристики).

Фиксированные:

- Размер заполняемой полости, в том числе высота;
- Величина зазора по контуру;
- Подвижность бетонной смеси.

Меняемые:

- Количество бетоноводов;
- Диаметр бетоноводов;
- Расположения выходного отверстия бетоноводов;
- Скорость истечения смеси;
- Наличие технологических элементов внутри полости;

При этом регистрировались следующие показания:

- Характер начала заполнения объема;
- Направление распространения потока по площади;
- Время и характер смачивания верхнего перекрытия(достижение максимальной высоты);
- При наличии двух и более бетоноводов, характер сопряжения потоков;
- Влияние включений на распространение смеси и ее заполнение объема;
- Сплошность (процент) заполнения полости – коэффициент K_n ;
- Характер дефектов.

Характерным отличием данных экспериментов-физико-механические характеристики бетона не определялись, т.к. после проведения одного эксперимента смесь извлекалась из макета, перемешивалась и использовалась для проведения дальнейших экспериментов.

Для определения необходимого и достаточного количества экспериментов по исследованию зависимости качества заполнения бетонной смесью

технологического зазора в зависимости от параметров подачи бетонной смеси модельного состава применялся метод математического планирования эксперимента.

Надежность (доверительная вероятность) оценки x по найденному x^* является вероятность P , с которой осуществляется неравенство:

$$|x - x^*| < \delta, \quad (3.2)$$

т.е. это вероятность того, что x отличается от x^* меньше чем на δ .

$$P(|x - x^*| < \delta) = \bar{P}, \quad (3.3)$$

Отсюда получаем доверительный интервал $(x^* - \delta, x^* + \delta)$, который показывает, что этот интервал включает в себе неизвестный параметр x с вероятностью равной P .

На основе того, чтобы доверительный интервал перекрывал неизвестный параметр x , определяют по таблицам n – объем выборки (количество опытов).

Вероятность осуществления неравенства $|x - a| < \delta$ для нормального распределения случайной величины X находится так ($a = M(X)$):

$$P(|x - a| < \delta) = 2\Phi\left(\frac{\delta}{\sigma}\right), \quad (3.4)$$

где $\Phi(t)$ - функция Лапласа, $\sigma = \sqrt{D(x)}$.

Математическое ожидание a по выборочной средней X при n значениях (объем выборки) оценивается по:

$$P\left(\bar{x} - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < a < \bar{x} + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 2\Phi(t) = \bar{P}, \quad (3.5)$$

Если задано \bar{P} , то t находится из равенства $2\Phi(t) = \bar{P}$ по таблице функций Лапласа. Из соотношения $2\Phi(t) = 0,95$ по таблице находим $t = 1,96$.

При математическом планировании эксперимента по исследованию зависимости скорости подачи бетонной смеси в полость на качество заполнения полости обосновывалась достоверность исследований с помощью доверительной вероятности и было установлено, что необходимо провести $N=15$ экспериментов, чтобы заданному интервалу с $\delta=1,35$ соответствовала доверительная вероятность

$P = 0,96$. Было выполнено 15 видов опытов (по 3 раза) основной серии (Таблица 3.7)

Таблица 3.7

Параметры опытов модельного эксперимента

Номер опыта	Распływ конуса, см	Количество бетоноводов	Расположение устья бетоноводов*	Эквивалентная производительность, м ³ /ч	Наличие включений	Величина зазора по контуру, мм
1	73	1	1	10	-	15
2	73	1	2	10	-	15
3	70	1	3	10	-	15
4	70	1	3	5	-	15
5	69	1	3	10	+	15
6	70	2	3/3	10	-	15
7	70	2	1/2	10	-	15
8	69	2	3/3	20	-	15/0
9	69	2	3/3	40	-	15
10	72	2	1/2	5	-	15
11	72	2	3/3	5	-	15
12	71	2	1/2	5	+	15
13	70	2	3/3	5	+	15
14	70	4	3/3-1/2	20(5)	-	15
15	69	4	3/3-1/2	20(5)	+	15

*1-7 диаметров(1/4 длины макета) от дальней торцевой стенки $B=A2-7d$;

2-7 диаметров(1/4 длины макета) от ближней торцевой стенки $B=A0+7d$;

3- по центру макета $B=A1$

Бетонирование полости с применением одного бетоновода

На первом этапе эксперимента определялись параметры установки (скорость вращения барабана 1 оборот в 6 секунд), обеспечивающие производительность бетононасоса 10м³/час, что соответствует скорости истечения бетонной смеси из бетоновода модели с $Dy=2.78$ л/с.

Исходные параметры эксперимента 1:

- Расположение выходного отверстия бетоновода - 7 диаметров(1/4 длины макета) от дальней торцевой стенки: $B_1=A2-7d$;
- Моделируемая производительность 10 м³/ч =2,78л/с;
- Скорость истечения бетонной смеси – 22,6см/с;
- Время бетонирования 4,4 мин,
- Скорость вращения барабана - 1 оборот в 6 сек;
- Распływ смеси на вискозиметре Суттарда - 225мм.

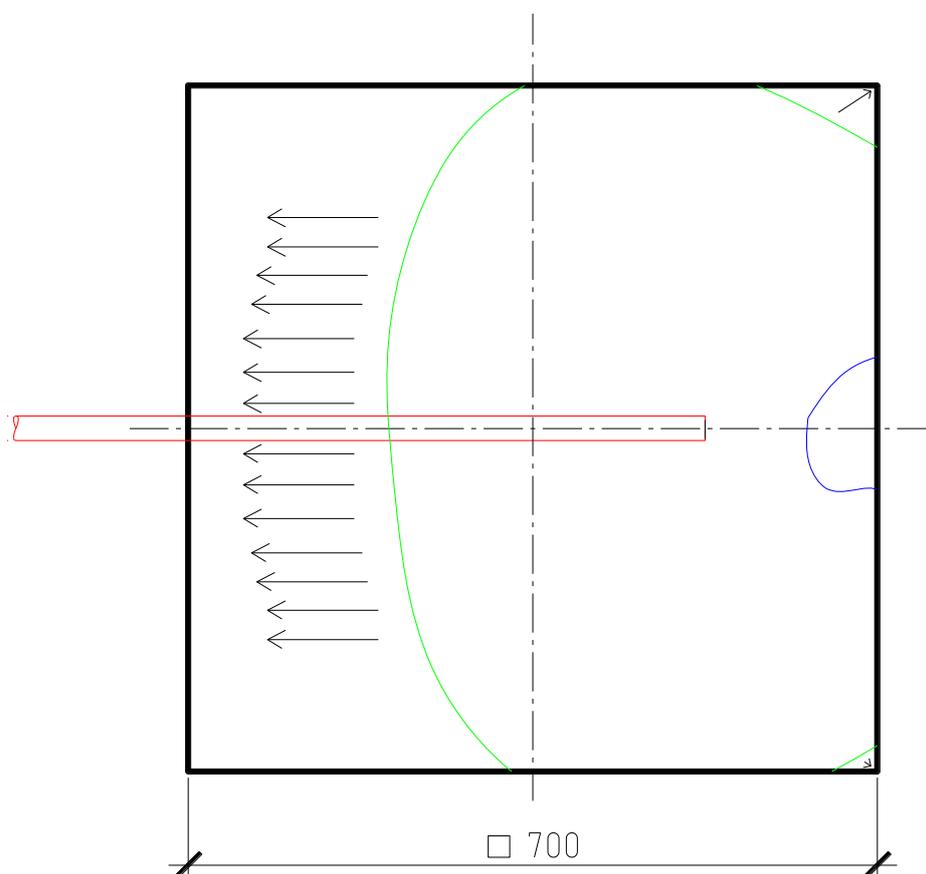


Рис. 3.11 Схема заполнения полости, эксперимент 1

В процессе эксперимента оказалось, что заполнение полости макета происходит следующим образом (рис.3.11, 3.12):

- до половины высоты полости (размер диаметра бетоновода) происходит равномерно;

- далее заполнение происходит практически равномерно по высоте, с некоторым превышением у торцевой стенки, до момента контакта бетонной смеси с прозрачной крышкой макета;

- затем происходит увеличение пятна контакта бетонной смеси с крышкой макета в сторону от торцевого ребра, происходит равномерное заполнение свободного объема, включая углы;

- отдельные воздушные раковины образовались в местах включений(шпилек), и в процессе дальнейшего заполнения полости их размер уменьшался. На отдельных участках остались мелкие поры (диаметром менее 1мм). Площадь раковин и пор на поверхности составила менее 1%. $K_n = 0,99$

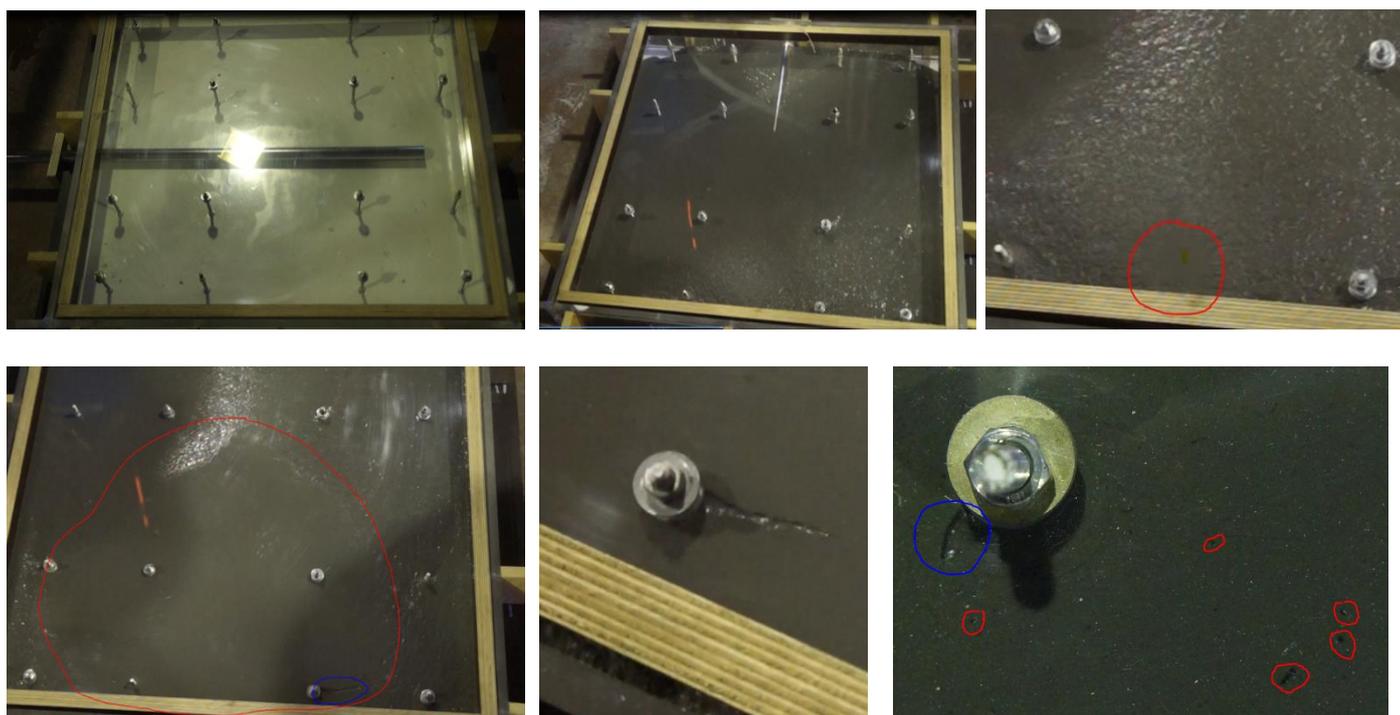


Рис. 3.12 Этапы заполнения полости, эксперимент 1

На втором этапе экспериментов проводились с заполнением полости также одним бетоноводом, но с ассиметричным расположением бетоновода.

Исходные параметры эксперимента 2:

- Расположение выходного отверстия бетоновода - 7 диаметров ($1/4$ длины макета) от ближней торцевой стенки $B_1 = A_0 + 7d$;
- Моделируемая производительность $10 \text{ м}^3/\text{ч} = 2,78 \text{ л/с}$;
- Скорость истечения бетонной смеси – $22,6 \text{ см/с}$;
- Время бетонирования 4,4 мин,
- Скорость вращения барабана - 1 оборот в 6 сек;
- Расплыв смеси на вискозиметре Сутгарда - 225мм.

В данном случае заполнение полости происходило следующим образом (Рис. 3.13.):

-по сравнению с предыдущим экспериментом, заполнение полости бетонной смесью на протяжении всего эксперимента происходили более равномерно; -контакт бетонной смеси с прозрачной крышкой вначале произошел над концом бетоновода;

- после чего достигнув ближней стенки на всю ширину, заполнение происходило по всей поверхности перпендикулярно бетоноводу по всей ширине макета;

- Наличие раковин на стороне, противоположной вводу. Очевидно это объясняется недостаточной скоростью заполнения и может быть устранено за счет увеличения производительности или количества бетоноводов. Отсутствие мелких пор, наличие раковин на стыке перекрытия и шпилек - минимально, их размер меньше чем в предыдущем эксперименте. $K_n = 0,98$



Рис. 3.13 Этапы заполнения полости, эксперимент 2

На третьем этапе экспериментов проводились с заполнением полости также одним бетоноводом, но расположенным в центре.

Исходные параметры эксперимента 3:

- Расположение выходного отверстия бетоновода по центру: $B_1=A1$;
- Моделируемая производительность $10 \text{ м}^3/\text{ч} = 2,78 \text{ л/с}$;
- Скорость истечения бетонной смеси – $22,6 \text{ см/с}$;
- Время бетонирования $4,4 \text{ мин}$,
- Скорость вращения барабана - 1 оборот в 6 сек;
- Расплыв смеси на вискозиметре Сутгарда - 235 мм .

Заполнение полости бетонной смесью происходило следующим образом (Рис. 3.14-3.16):

- в данном варианте наблюдается наиболее равномерное распространение бетонной смеси по плоскости макета (Рис. 12);

- контакт бетонной смеси с прозрачной крышкой происходит над бетоноводом в центре макета (Рис.13);

- далее смесь заполняет оставшийся объем равномерно;

- на поверхности имеются отдельные мелкие раковины (Рис. 14), мелкие поры отсутствуют. $K_n=0,99$

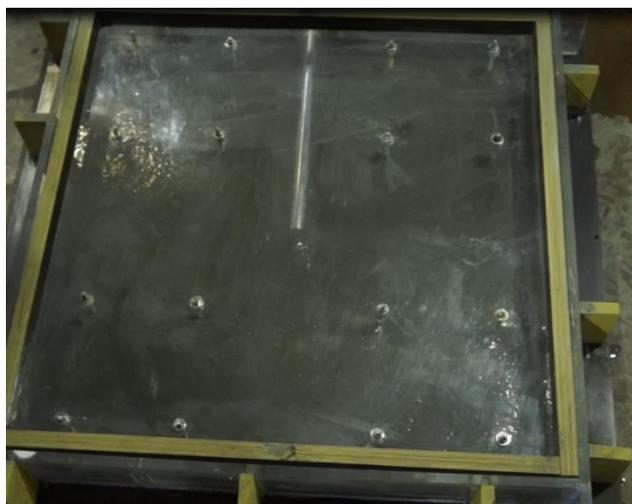


Рис. 3.14 Равномерное распространение бетонной смеси по площади



Рис. 3.15 Смачивание перекрытия в центре

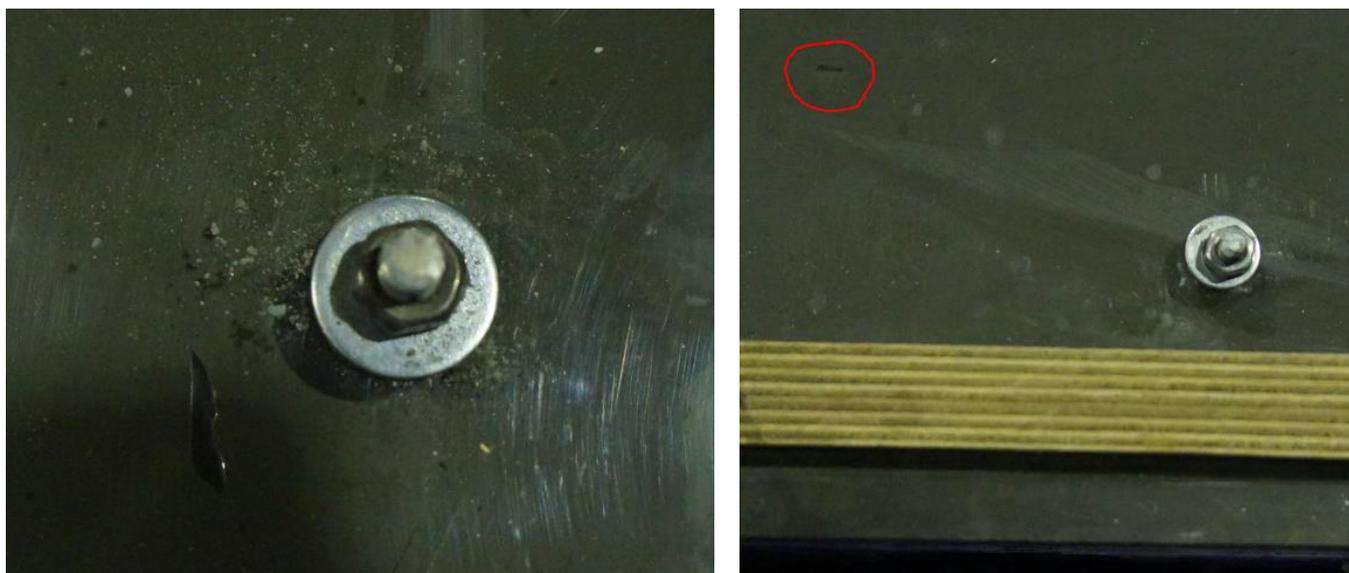


Рис. 3.16 Наличие мелких дефектов

Эксперименты показали что, при заполнении полости через один бетоновод, оптимальным является подача бетонной смеси по центру макета.

Последующие эксперименты проводились при том же расположении бетоновода по центру макета, но с уменьшенной в 2 раза подачей бетонной смеси.

Исходные параметры эксперимента 4:

- Расположение выходного отверстия бетоновода по центру: $B_1=A1$;
- Моделируемая производительность $5 \text{ м}^3/\text{ч}=1,39 \text{ л/с}$;
- Скорость истечения бетонной смеси – $11,3 \text{ см/с}$;
- Время бетонирования $8,8 \text{ мин}$,
- Скорость вращения барабана - 1 оборот в 12 сек;

Распływ смеси на вискозиметре Сутгарда - 260 мм

Заполнение полости происходило так же, как и при скорости $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ (Рис. 3.17). На поверхности бетона крупные раковины отсутствуют, у стенки макета противоположной выходному отверстию бетоновода наблюдается наличие мелких пор у дальней стенки (Рис. 3.18). $K_n=0,98$



Рис. 3.17 Смачивание перекрытия



Рис. 3.18 Наличие мелких пор у дальней стенки

При бетонировании полости одним бетоноводом при моделировании производительности бетононасоса в 5 и 10 м³/ч выяснилось, что скорость подачи смеси практически не влияет на качество заполнения полости.

Определение влияние включения технологических проходов на качество заполнения полости

Целью настоящих экспериментов было изучение влияния наличия в полости технологических проходов. Размещенные в полости макета технологические проходы выбраны из условий наибольшей вероятности их прокладки в полости при реальном возведении энергетического аппарата.

Исходные параметры эксперимента 5:

- Наличие технологических проходов в полости макета;
- Расположение выходного отверстия бетоновода по центру: $B_1 = A1$;
- Моделируемая производительность 10 м³/ч = 2,78 л/с;
- Скорость истечения бетонной смеси – 22,6 см/с;
- Время бетонирования 4,4 мин,
- Скорость вращения барабана - 1 оборот в 6 сек;
- Расплыв смеси на вискозиметре Суттарда - 260 мм.

Заполнение полости бетонной смесью происходило следующим образом (Рис. 3.19-3.21):

-при бетонировании объем макета под трубами заполнялся равномерно;
 - далее наблюдалось накапливание бетонной смеси в центральной части, заполняя кольцо;

-потом смесь, перетекая через кольцо, постепенно заполняла пространство между трубами;

- контакт бетонной смеси с прозрачной крышкой макета происходил сначала в центре, потом между трубами, в результате чего происходит защемление воздуха на стыке двух «потоков»;

-вдоль технологических проходов в углах макета образовались поверхностные продольные раковины. $K_n = 0,87$

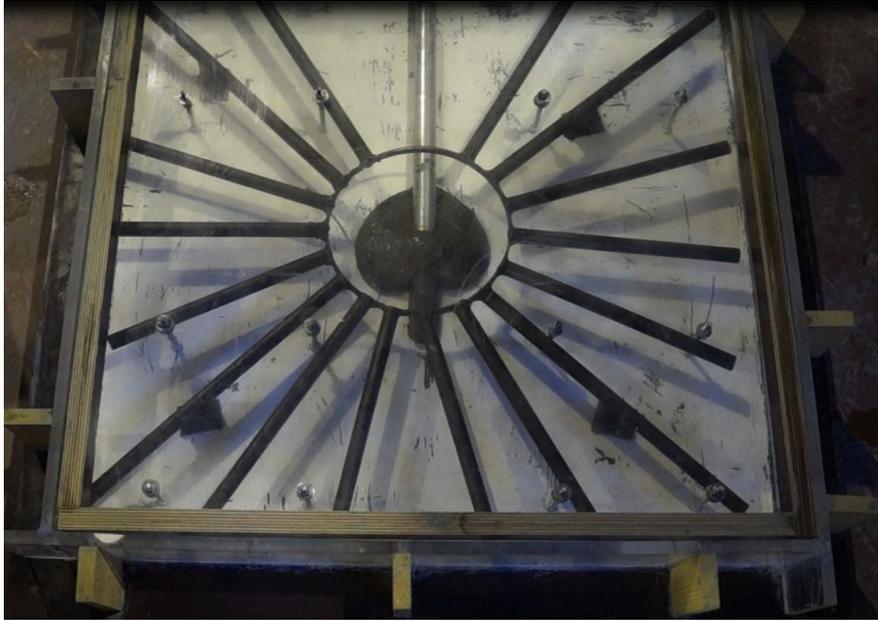


Рис. 3.19 Начало заполнения



Рис. 3.20 Смачивание поверхности перекрытия



Рис. 3.21 Крупные раковины в местах включений

Проведенные эксперименты показали, что при подаче бетонной смеси через один бетоновод качественное заполнение происходит только в свободном объеме полости (без включений). Наличие данных технологических проходов влияют на характер заполнения полости, и приводит к образованию некоторого количества раковин вытянутых вдоль технологических проходов.

Определение влияния количества бетоноводов на качество бетонирования полости.

На следующем этапе экспериментов бетонирование производилось с использованием 2-х бетоноводов. Вначале проводились эксперименты по определению влияния скорости подачи бетонной смеси при использовании двух бетоноводов на характер заполнения полости макета

Исходные параметры эксперимента 6:

- Бетоноводы размещаются по центру макета с расстояниями между их концами -1 диаметр(25мм): $B_1=A1-0,5d$, $B_2=A1+0,5d$;
- Моделируемая производительность $10 \text{ м}^3/\text{ч} = 2,78 \text{ л/с}$;
- Скорость истечения бетонной смеси из двух бетоноводов – $2 \times 11.3 = 22,6 \text{ см/с}$;
- Время бетонирования 4,4 мин;
- Скорость вращения барабана - 1оборот в 6 сек;
- Расплыв смеси на вискозиметре Сутгарда - 240мм.

Заполнение полости бетонной смесью происходило следующим образом (Рис. 3.22-3.24):

- заполнение бетонной смесью до середины высоты полости происходило равномерно;

-контакт бетонной смеси с прозрачной крышкой макета произошел одновременно двумя пятнами в центре, которые объединились в одно пятно через 3с, в дальнейшем смесь распространялась равномерно от центра к периферии;

-по окончании бетонирования по периметру макета образовались поры диаметром 2-3 мм. $K_n=0,95$

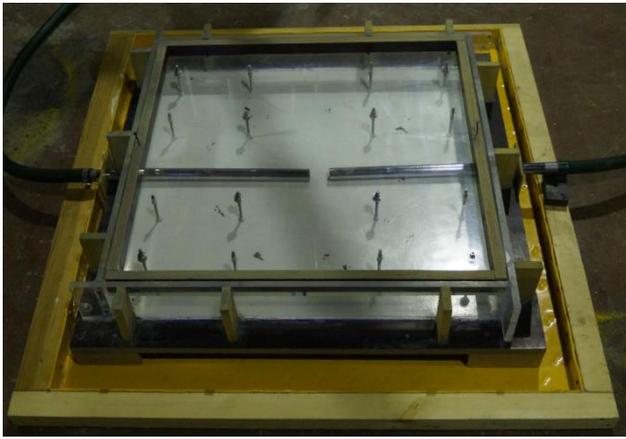


Рис. 3.22 Расположение бетоноводов



Рис. 3.23 Смачивание поверхности перекрытия

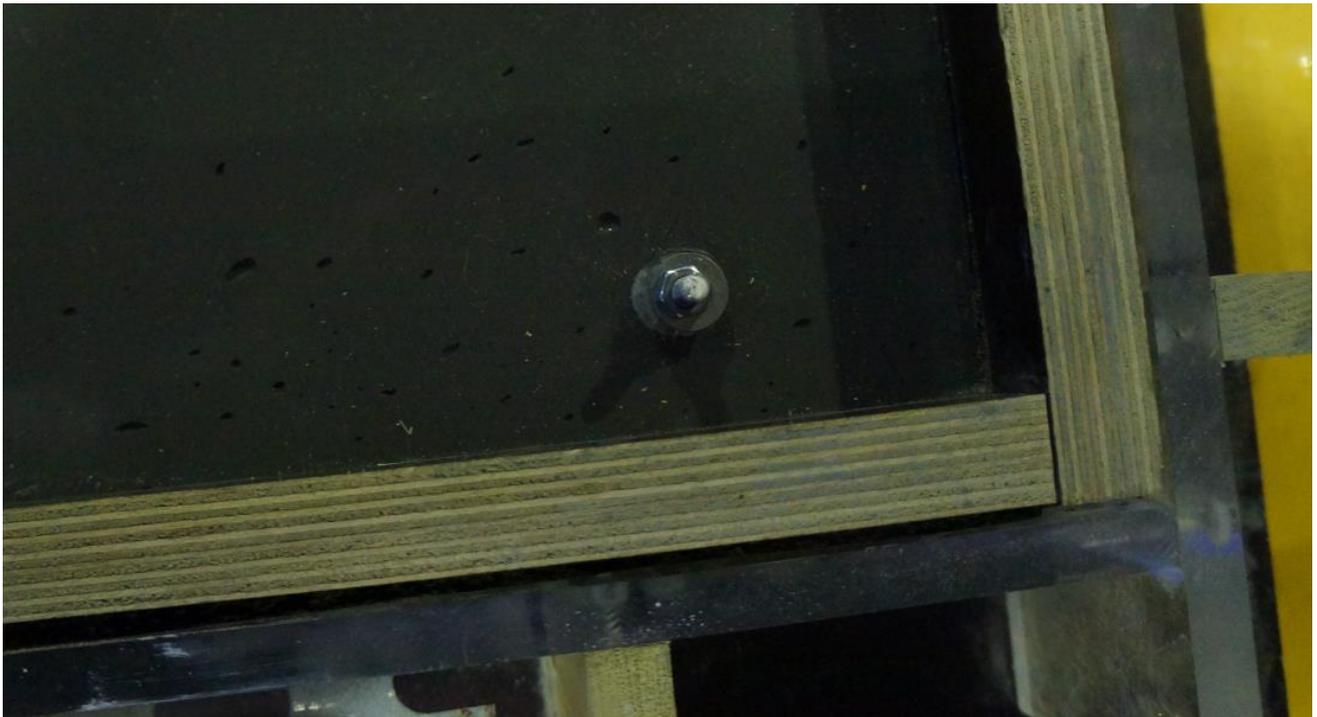


Рис. 3.24 Образование пор по периметру макета

В следующем эксперименте было изменено размещение двух бетоноводов.

Исходные параметры эксперимента 7:

- Бетоноводы размещаются по периферии макета на расстоянии от стенок равным 7 диаметрам бетоновода(175мм): $B_1 = A_0 + 7d$, $B_2 = A_2 - 7d$;
- Моделируемая производительность 10 м³/ч = 2,78л/с;
- Скорость истечения бетонной смеси из двух бетоноводов – $2 \times 11.3 = 22,6$ см/с;
- Время бетонирования 4,4 мин,
- Скорость вращения барабана - 1оборот в 6 сек;
- Расплыв смеси на вискозиметре Суттарда - 240мм.

Заполнение полости бетонной смесью происходило следующим образом (Рис. 3.25 – 3.26):

- распространение бетонной смеси происходило равномерно по площади макета на высоту бетоноводов;

- далее уровень бетонной смеси незначительно поднимался в двух местах над концами бетоноводов до соприкосновения с крышкой, а смесь распространялась равномерно во все стороны;

- по центру макета на всю ширину образовывалась раковина, которая постепенно уменьшалась с образованием отдельных продолговатых раковин небольшого размера. $K_n=0,94$

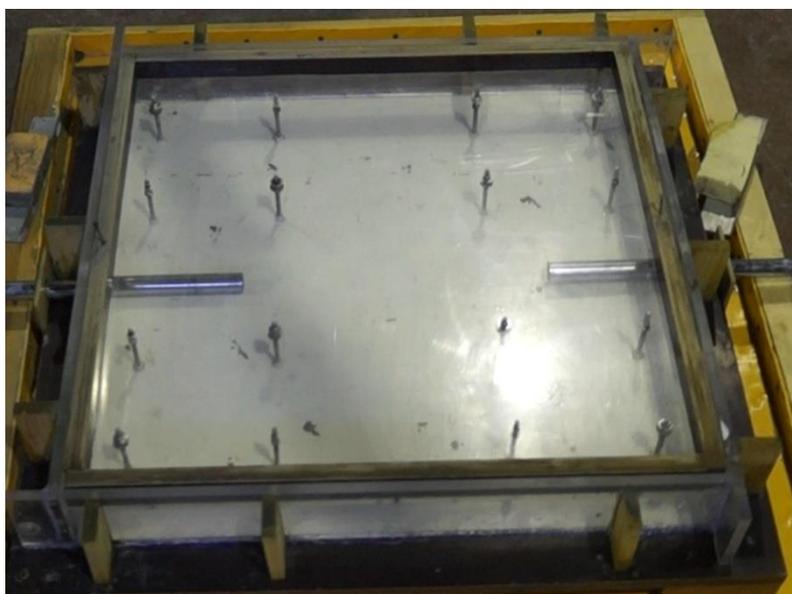


Рис. 3.25 Расположение бетоноводов в полости

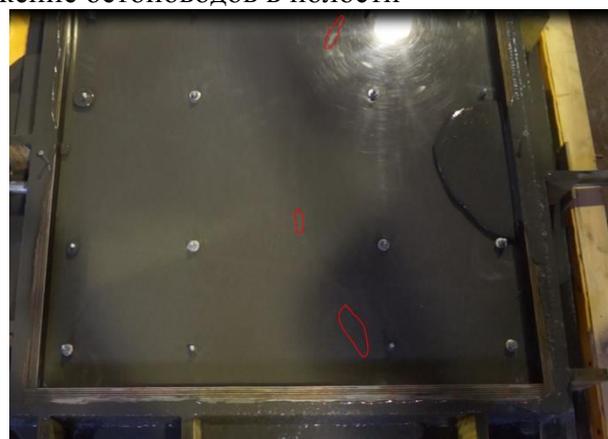


Рис. 3.26 Образование пор по границе стыка потоков

В следующем эксперименте была увеличена скорость бетонирования.

Исходные параметры эксперимента 8:

- Бетоноводы размещались по центру оси макета на расстоянии от стенок равном 7 диаметрам бетоновода(175мм): $B_1=A_0+7d$, $B_2=A_2-7d$;
- Моделируемая производительность $20 \text{ м}^3/\text{ч} = 5,56 \text{ л}/\text{с}$;
- Скорость истечения бетонной смеси из двух бетоноводов – $2 \times 22,6 = 45,2 \text{ см}/\text{с}$;
- Время бетонирования 2,2 мин,
- Скорость вращения барабана - 1 оборот в 3 сек;
- Распływ смеси на вискозиметре Суттарда - 240мм.

Заполнение полости бетонной смесью происходило следующим образом (Рис. 3.27, 3.28):

- распространение бетонной смеси происходило равномерно по площади макета на высоту бетоноводов;

- далее уровень бетонной смеси поднимался в двух местах над концами бетоноводов до соприкосновения с крышкой, и смесь распространялась равномерно во все стороны;

- по центру макета на всю ширину образовывалась раковина, которая постепенно уменьшалась с образованием отдельных продолговатых раковин.

$K_n=0,92$

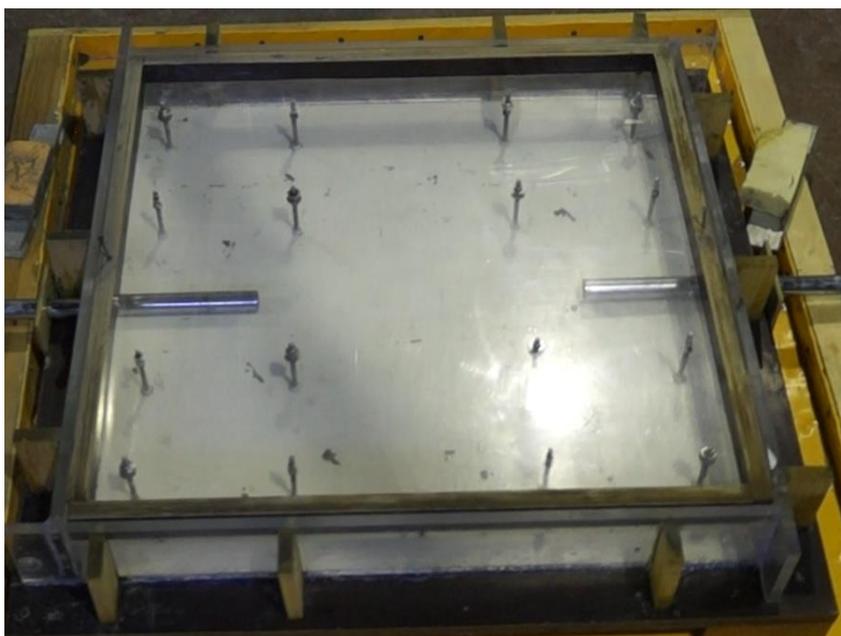


Рис.3.27 Расположение бетоноводов в полости

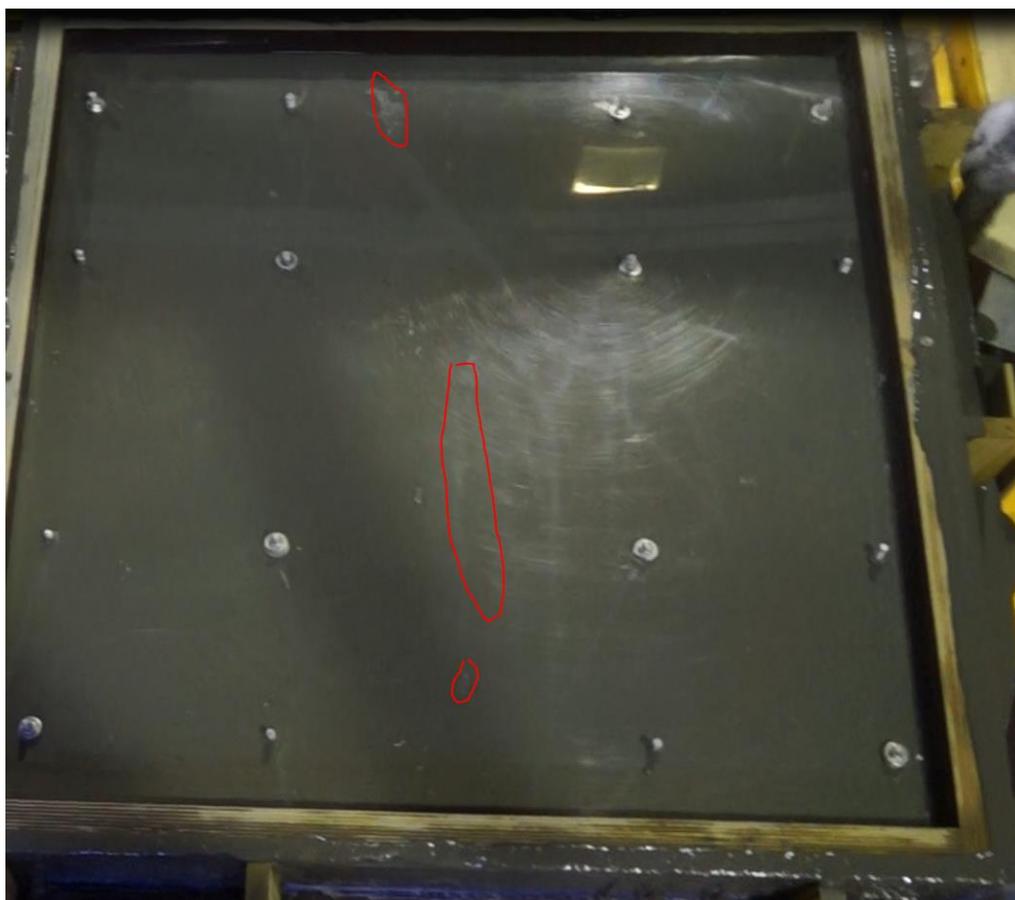


Рис.3.28 Раковины по центру плоскости

В следующем эксперименте расположение бетоноводов не изменялось, а производительность была увеличена в два раза

Исходные параметры эксперимента 9:

- Бетоноводы размещались по центру оси макета на расстоянии от стенок равном 7 диаметрам бетоновода(175мм): $B_1=A0+7d$, $B_2=A2-7d$;
- Моделируемая производительность 40 м³/ч =11.12л/с;
- Скорость истечения бетонной смеси из двух бетоноводов – $2 \times 45.2=90.4$ см/с;
- Время бетонирования 1.1 мин,
- Скорость вращения барабана - 1оборот в 1.5 сек;
- Распływ смеси на вискозиметре Сутгарда - 240мм.

Заполнение полости СУБС происходило следующим образом (Рис. 3.29, 3.30)

-смесь распределялась равномерно по площади макета;

- в центральной части их размер был значительно меньше, чем в предыдущем эксперименте;

- в отличие от предыдущих экспериментов, во всех углах макета образовались крупные раковины. $K_n=0,89$

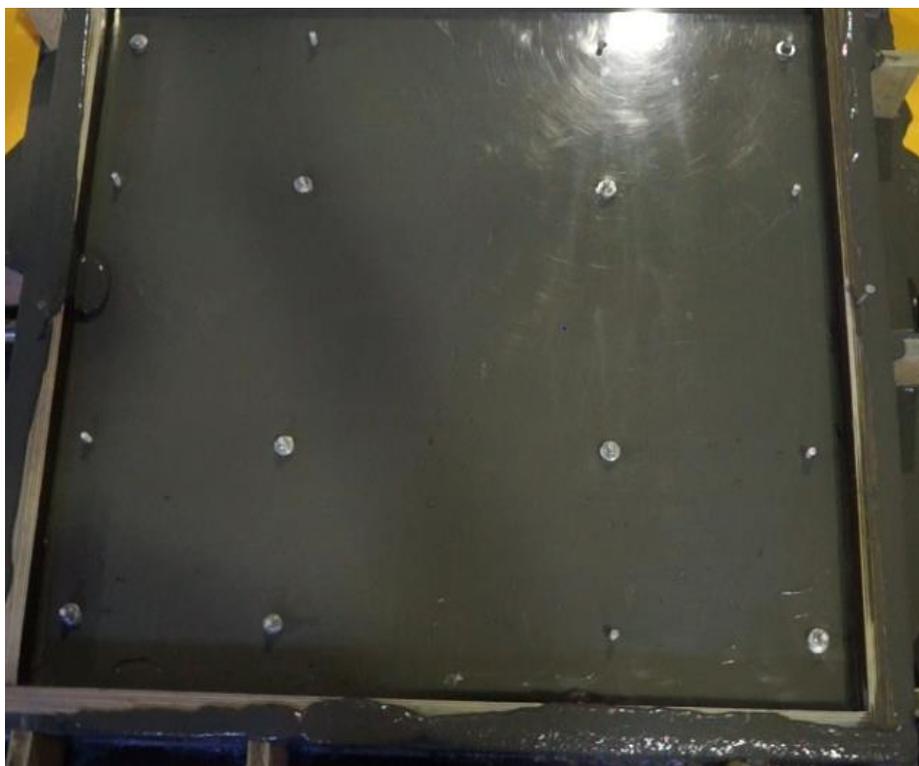


Рис.3.29 Равномерное заполнение полости

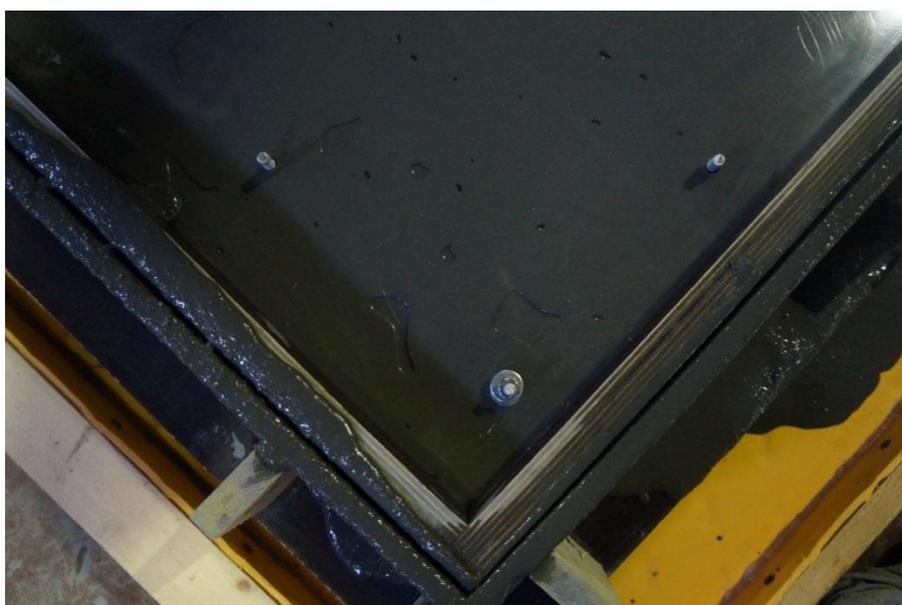


Рис. 3.30 Крупные раковины в углах

Вывод: с увеличением скорости - количество и размер воздушных пор возрастает.

В предыдущих экспериментах было выявлено, что с увеличением скорости заполнения полости бетонной смесью количество дефектов увеличивается. Поэтому было принято решение провести заполнение полости с минимальной производительностью.

Исходные параметры эксперимента 10:

- Бетоноводы размещаются по периферии макета на расстоянии от стенок равным 7 диаметрам бетоновода(175мм): $B_1=A0+7d$, $B_2=A2-7d$;
- Моделируемая производительность 5 м³/ч =1,39л/с;
- Скорость истечения бетонной смеси из одного бетоноводов – $2 \times 5,65=11.3$ см/с,
- Время бетонирования 8,8 мин, два бетоновода.
- Скорость вращения барабана 1 оборот в 12 сек
- Расплыв смеси на Вискозиметре Суттарда - 240мм

Заполнение полости бетонной смесью происходило следующим образом (Рис. 3.31-3.32):

- распространение бетонной смеси происходило равномерно по площади макета на высоту бетоноводов;

- далее уровень бетонной смеси незначительно поднимался в двух местах над концами бетоноводов, при встрече двух фронтов бетонной смеси образовалась впадина на всю ширину макета, которая сохранялась до соприкосновения с крышкой;

-затем глубина впадины уменьшалась, при этом смесь распространялась равномерно во все стороны;

В конце процесса заполнения на поверхности бетонной смеси образовалось незначительное количество мелких пор. $K_n=0,96$

В связи с тем, что при данной скорости заполнения макета количество дефектов и их размер оказался минимальным, и поры располагались в центре поверхности макета, было принято решение провести эксперимент с расположением бетоноводов по центру макета с целью улучшения качества поверхности в центральной части макета.

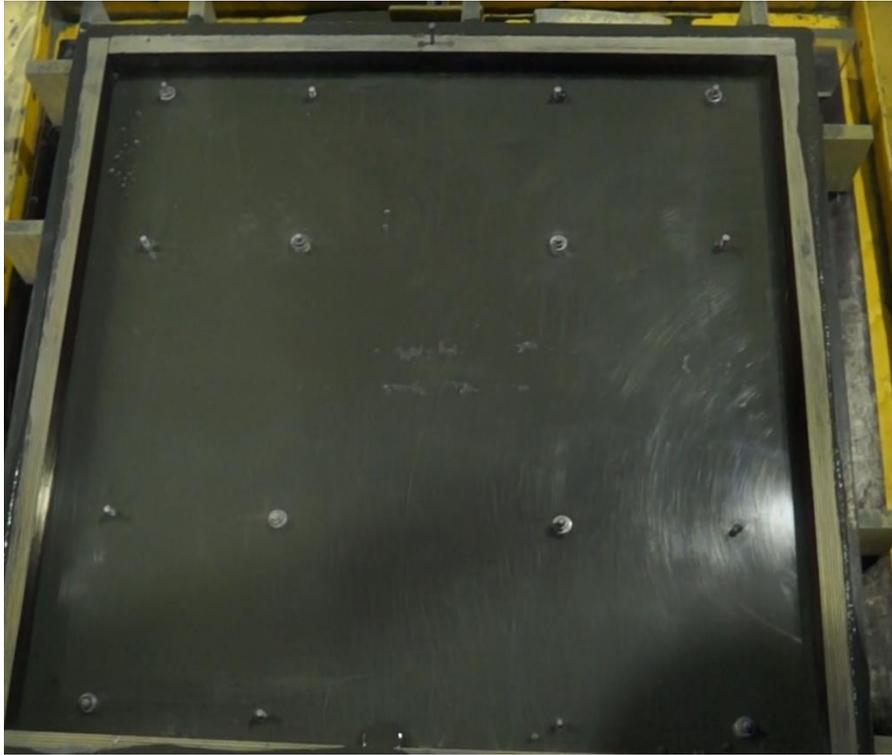


Рис. 3.31 Защемление воздуха в центре



Рис. 3.32 В местах стыка на периферии множество пор

Исходные параметры эксперимента 11:

- Бетоноводы размещаются по центру макета с расстояниями между их концами -1 диаметр(25мм) $B_1=A1-0,5d$, $B_2=A1+0,5d$;
- Моделируемая производительность 5 м³/ч =1,39л/с;
- Скорость истечения бетонной смеси из одного бетоноводов – $2 \times 5,65=11.3\text{см/с}$;
- Время бетонирования 8,8 мин, два бетоновода;
- Скорость вращения барабана 1оборот в 12 сек;
- Расплыв смеси на Вискозиметре Суттарда - 230мм

Заполнение полости СУБС происходило следующим образом:

- заполнение бетонной смесью до середины высоты полости происходило равномерно;

-контакт бетонной смеси с прозрачной крышкой макета произошел одновременно двумя пятнами в центре, которые объединились в одно пятно, в дальнейшем смесь распространялась равномерно от центра к периферии;

-по окончании бетонирования в центре поверхности макета дефектов не наблюдалось;

- у кромки опалубки над бетоноводами образовались незначительные раковины (Рис. 3.33). $K_n=0,96$

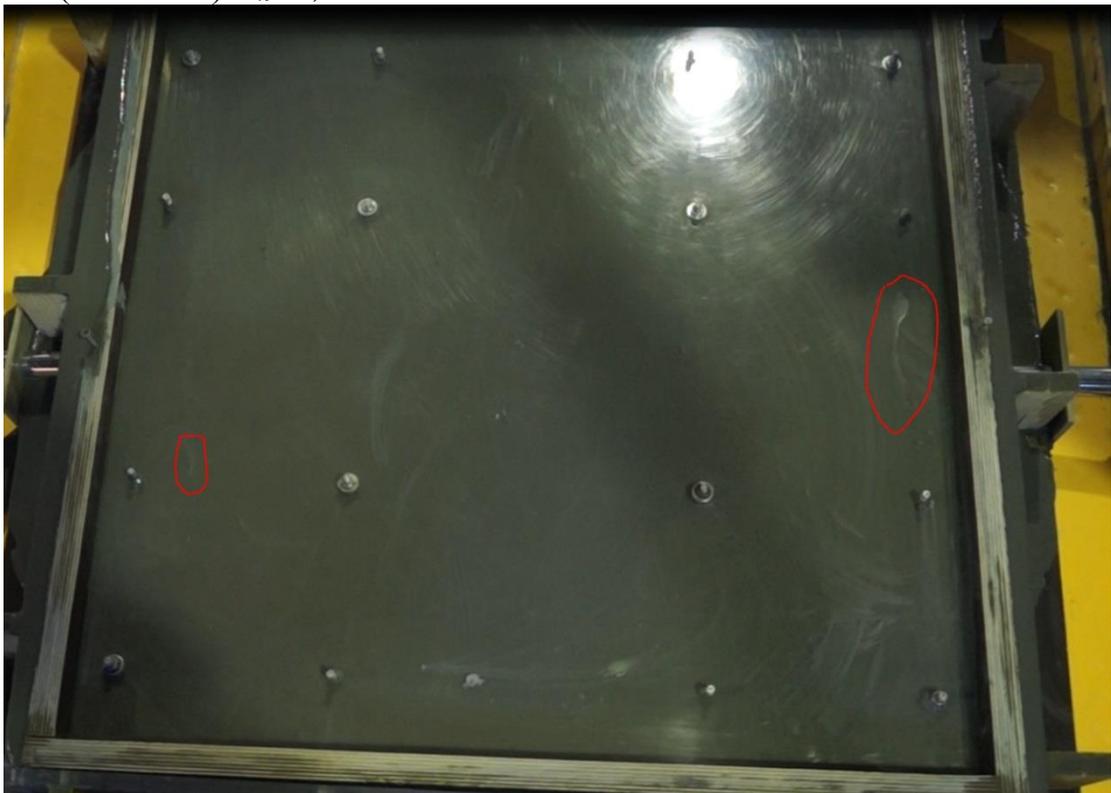


Рис. 3.33 Незначительные раковины по центру оси у периферии

В результате проведения экспериментов с двумя бетоноводами выяснилось, что с уменьшением скорости подачи смеси, качество поверхности улучшается. Однако при этом наблюдается наличие пор, характер и количество которых зависит от расположения бетоноводов. При расположении бетоноводов в центре - воздушные поры образуются на периферии, при расположении у краев макета, образование воздушных раковин происходит в центре.

Вероятно, что комбинированное расположение бетоноводов: двух на периферии и двух в центре, позволит максимально сократить количество дефектов на поверхности.

Заполнение макета с комбинированным расположением четырех бетоноводов

Исходные параметры эксперимента14:

- Расположение бетоноводов – комбинация: по центру макета с расстояниями между их концами -1 диаметр(25мм), по периферии макета на расстоянии от стенок равным 7 диаметрам бетоновода(175мм) $B_1=A1-0,5d$, $B_2=A1+0,5d$, $B_3=B0+7d$, $B_4=B2-7d$;
- Моделируемая производительность $5 \times 4 \text{ м}^3/\text{ч} = 5,56 \text{ л}/\text{с}$;
- Скорость истечения бетонной смеси— $4 \times 11,3 \text{ см}/\text{с} = 45.2 \text{ см}/\text{с}$;
- Время бетонирования 2,2 мин, 4 бетоновода;
- Скорость вращения барабана 1оборот в 3 сек;
- Расплыв смеси на Вискозиметре Суттарда - 230мм

Заполнение полости бетонной смесью происходило следующим образом и показано на Рис. 3.34,3.35:

- равномерное покрытие бетонной смесью дна макета произошло при высоте слоя в два раза меньше, чем при предыдущих вариантах;

-дальнейший подъем смеси происходил равномерно по всей площади макета с небольшим возвышением в центральной части;

-контакт бетонной смеси с прозрачной крышкой макета произошел практически в центре, с дальнейшим распространением в форме четырехлистника который при соприкосновении с бортами макета быстро заполнил всю площадь поверхности;

Полученная поверхность бетонной смеси практически не имела крупных пор и других дефектов. $K_n=1,0$

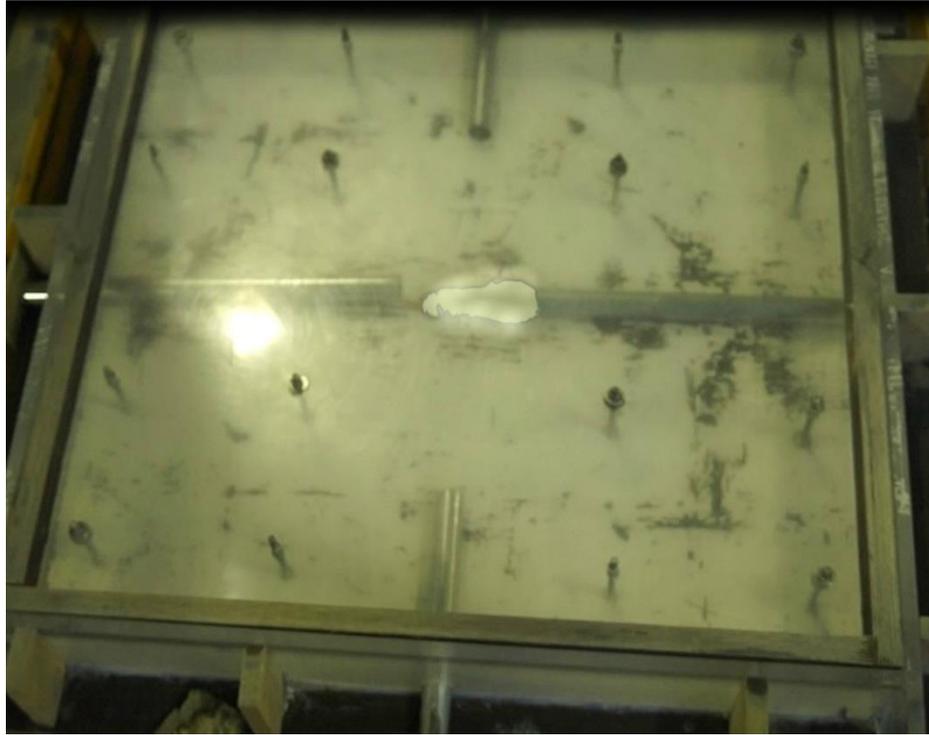


Рис. 3.34 Начало заполнения полости макета

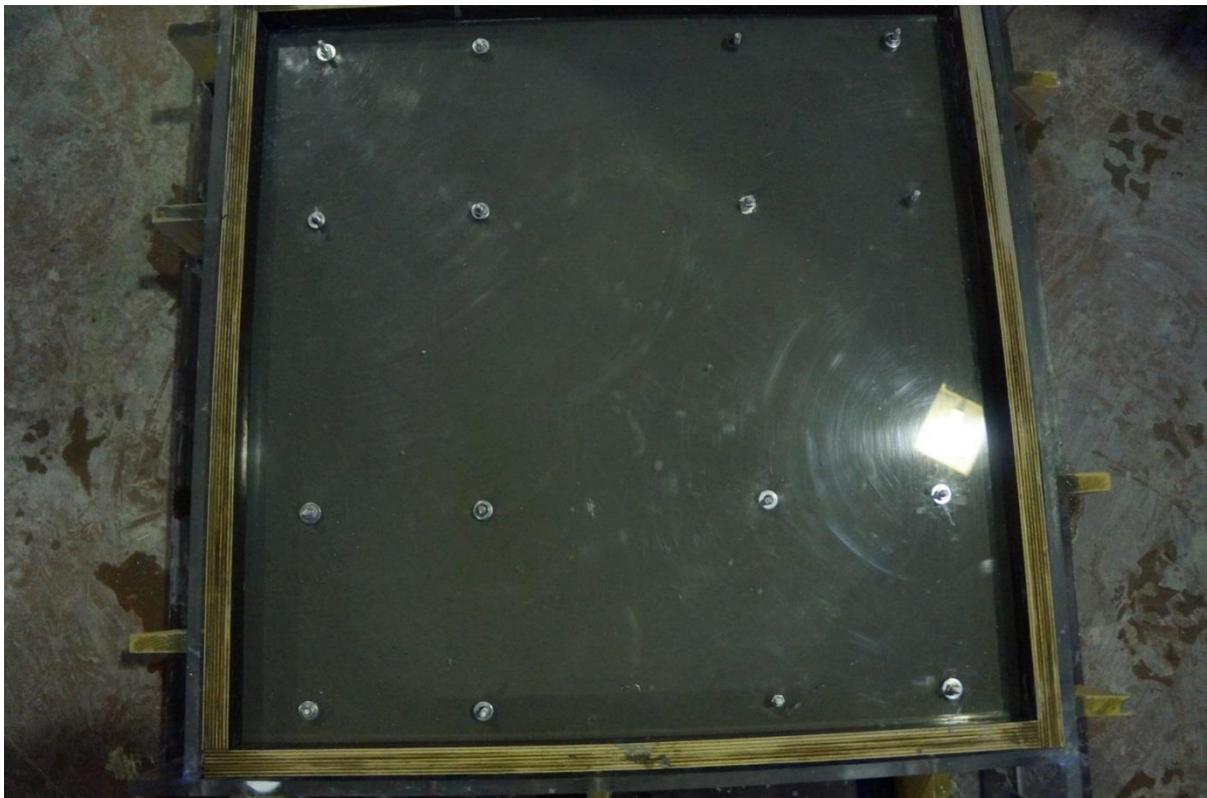


Рис. 3.35. Качественное заполнение макета бетонной смесью

В заключительном эксперименте была смоделирована полость с технологическими включениями с комбинированным заполнением ее четырьмя бетоноводами.

Исходные параметры эксперимента 15:

- Наличие технологических проходов в полости макета (Рис. 3.36);
- Расположение бетоноводов – комбинация: по центру макета с расстояниями между их концами -1 диаметр(25мм), по периферии макета на расстоянии от стенок равным 7 диаметрам бетоновода(175мм) $B_1=A1-0,5d$, $B_2=A1+0,5d$, $B_3=B0+7d$, $B_4=B2-7d$;
- Моделируемая производительность $5 \times 4 \text{ м}^3/\text{ч} = 5,56 \text{ л/с}$;
- Скорость истечения бетонной смеси – $4 \times 11,3 \text{ см/с} = 45,2 \text{ см/с}$;
- Время бетонирования 2,2 мин, 4 бетоновода;
- Скорость вращения барабана 1 оборот в 3 сек;
- Расплыв смеси на Вискозиметре Суттарда - 230мм

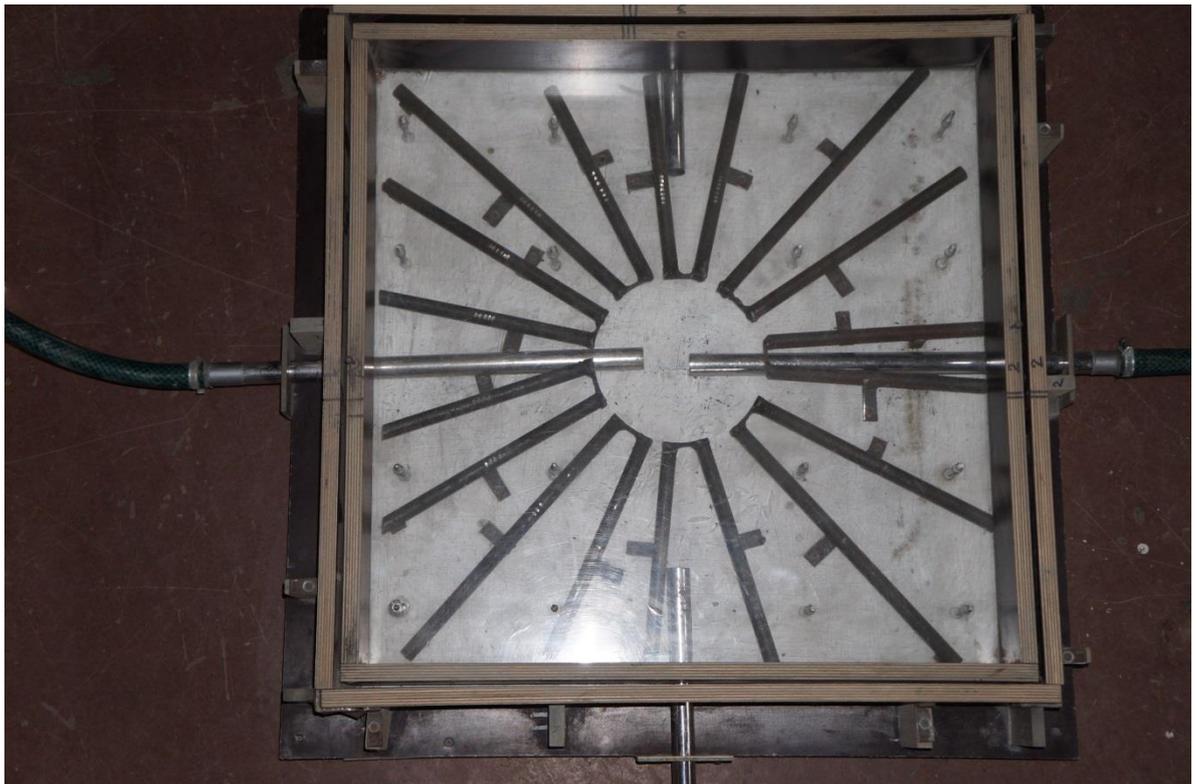


Рис.3.36 Вид на макет полости с технологическими включениями с расположенными комбинировано 4-мя бетоноводами $B_1=A1-0,5d$, $B_2=A1+0,5d$, $B_3=B0+7d$, $B_4=B2-7d$;

Заполнение полости бетонной смесью происходило следующим образом (Рис. 3.37):

- равномерное покрытие дна макета произошло при высоте слоя также, как и при отсутствии включений;

-дальнейший подъем смеси происходил равномерно по всей площади макета с небольшим возвышением в центральной части;

-контакт бетонной смеси с прозрачной крышкой макета произошел практически в центре, потом между трубами технологических проходов, учитывая то, что поток смеси поступал с четырех сторон, то зацементирования выше труб не происходило. Далее смесь распространялась в форме четырехлистика, который при соприкосновении с бортами макета быстро заполнил всю площадь поверхности;

- поверхность бетонной смеси не имела крупных пор и других дефектов даже в местах прокладки имитаторов трубопроводов. $K_n=0,99$.

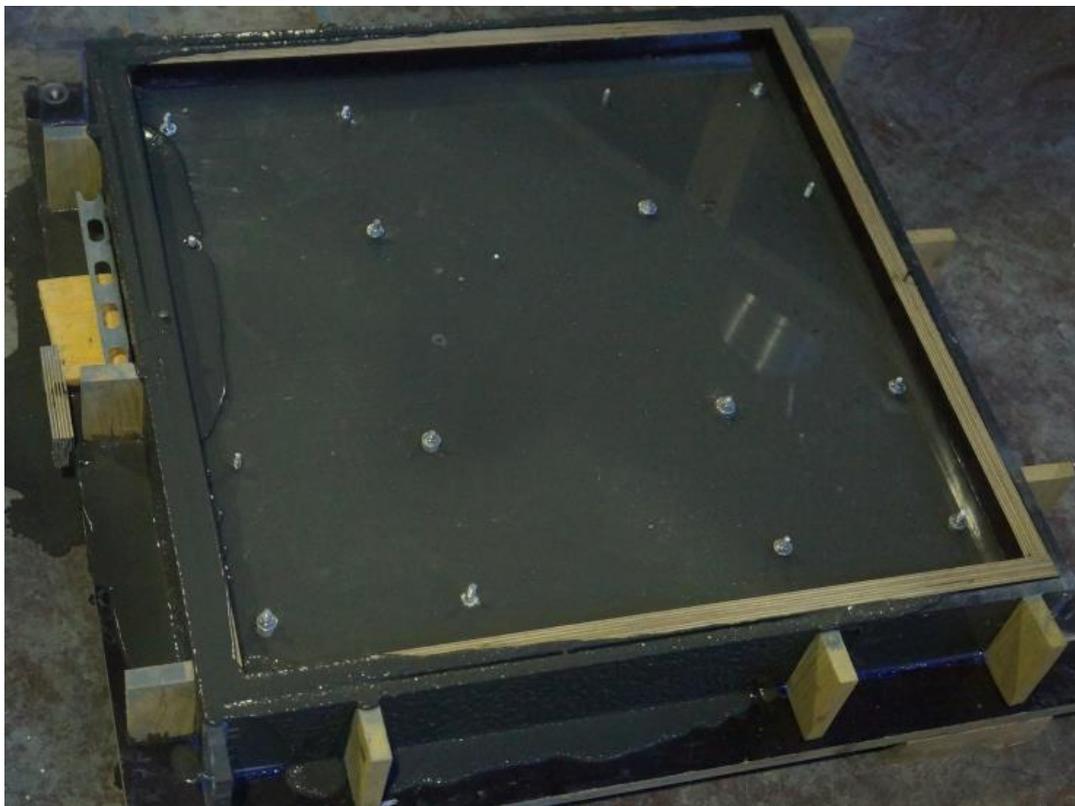


Рис. 3.37 Качественное заполнение макета с технологическими включениями бетонной смесью

3.4 Анализ результатов экспериментальных данных

Учитывая то, что в процессе заполнения полости с различными вариантами подачи бетонной смеси всегда обеспечивалось полное заполнение основания полости, оценка качества заполнения K_n определялась на основании измерения

площади контакта бетонной смеси с верхним перекрытием K_s . Процент заполнения определялся при помощи графического редактора СПДС 2010. На фотоснимке поверхности обводились полученные в ходе заполнения дефекты, и при помощи встроенного в программу математического алгоритма вычислялась заполненная площадь. Расчет значения качества заполнения полости K_n проводился посредством формул 2.5 и 2.3. На основании полученных экспериментальных данных по отработке технологии бетонирования полостей на экспериментальной установке ГА-ЭУЗ в соответствии с поставленными целями и задачами можно сделать следующие выводы:

1. Оптимальное качество заполнения полости достигается при введении бетоноводов в полость с четырех сторон при применении комбинационного расположения бетоноводов по площади полости (два в центре, 2 с периферии) и подаче бетонной смеси с минимальной суммарной скоростью истечения бетонной смеси с реальной эквивалентной производительностью $5\text{ м}^3/\text{ч}$.

2. При бетонировании следует применять самоуплотняющиеся бетонные смеси с подвижностью не меньше Р6.

3. С целью дополнительного контроля реологических свойств самоуплотняющихся бетонных смесей, обеспечивающих заполнение узких щелей (например в местах размещения включений), целесообразно использовать, разработанный в процессе проведения экспериментальных работ, прибор ГА-КИ1.

4. С целью сокращения времени бетонирования полости допустимо подавать смесь с увеличенной производительностью до заполнения 1/2 высоты полости, при условии выполнения требований к смеси по подвижности.

На основании полученных данных (Таблицы 3.8, 3.9) и их аппроксимации были построены кривые зависимости скорости истечения бетонной смеси на качество заполнения полости для 1, 2 и 4-х бетоноводов (Рис. 3.38) и влияние технологических включений на качество заполнения полости (Рис. 3.39). Для указанных кривых получены формулы:

$$\text{- для 1-го бетоновода: } K_{n1} = 1 / (0,9799 + 0,0048 \times P) \quad (3.6);$$

$$\text{- для 2-х бетоноводов: } K_{n2} = 0,9678 - 0,002 \times P \quad (3.7);$$

- для 1-го бетоновода: $K_{n4}=1,062-0,0093 \times \lg(P)$ (3.8),

где K_{ni} - коэффициент заполнения полости для 1-го, 2-х, 4-х бетоноводов соответственно;

P – эквивалентная реальная производительность, полученная через скорость истечения бетонной смеси (для бетоновода с рабочим диаметром 125мм), м³/ч.

Таблица 3.8

Сводные результаты проведённых модельных экспериментов

Приведенная производительность P , м ³ /ч	Количество бетоноводов		
	1	2	4
	Значение K_{ni}		
5	0,98	0,96	1,00
10	0,99	0,95	0,96
20	0,93	0,92	0,95
40	0,85	0,89	0,91

Значения приведены при следующем расположении бетоноводов:

Для 1-го - в центре $B_1=A1$;

2-х - с периферии $B_1=A0+7d$, $B_2=A2-7d$;

4-х – комбинировано $B_1=A1-0,5d$, $B_2=A1+0,5d$, $B_3=B0+7d$, $B_4=B2-7d$.

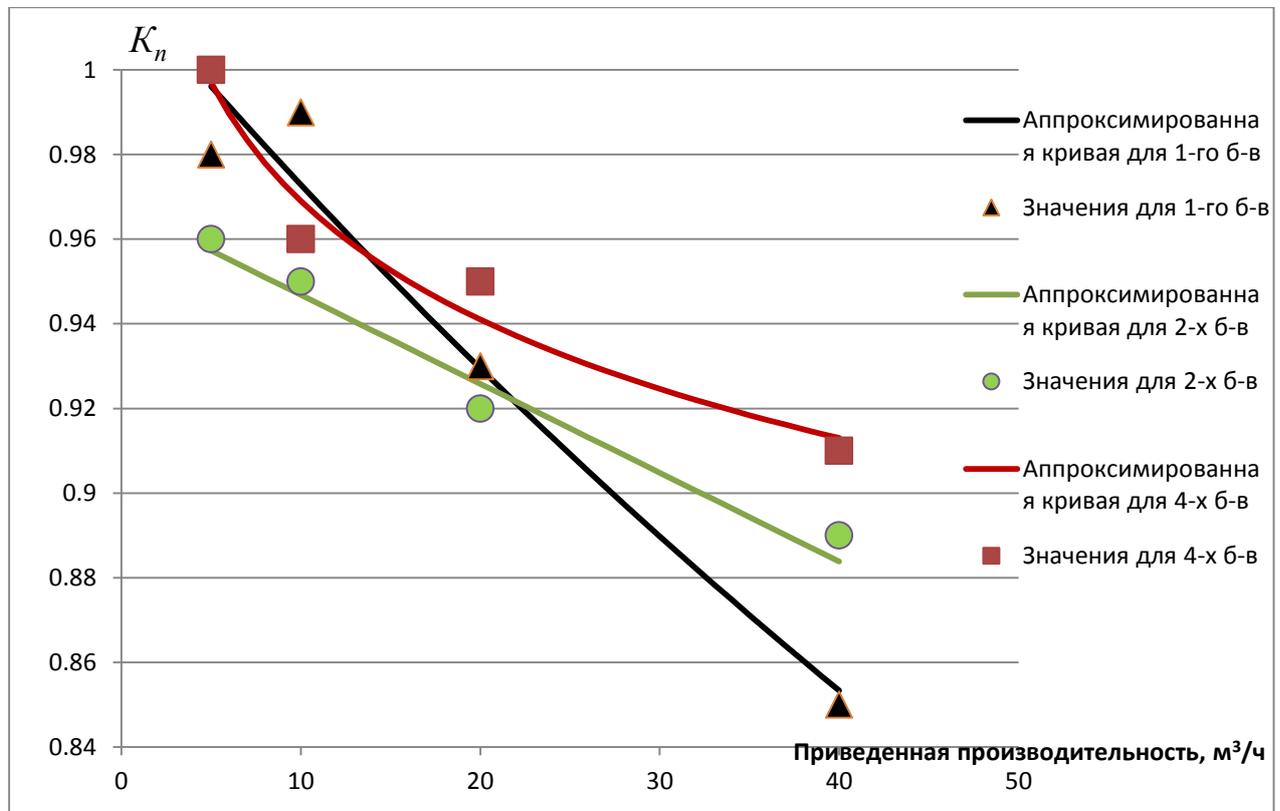


Рис.3.38 Кривая зависимости скорости истечения бетонной смеси -коэффициент заполнения полости для различного количества бетоноводов

Из графика видно, что максимальное значения K_n достигается при заполнении 4-мя бетоноводами с минимальной скоростью подачи бетонной смеси, при этом с увеличением количества бетоноводов градиент кривых уменьшается. Так при бетонировании одним бетоноводом с приведенной производительностью в $40\text{м}^3/\text{ч}$ и $5\text{м}^3/\text{ч}$ разность показаний составляет 0,12, а при двух 0,7.

Таблица 3.9

Сводные результаты проведённых модельных экспериментов

Наличие включений в макетируемой полости	Количество бетоноводов		
	1	2	4
	Значение K_{ni}		
-	0,99	0,96	1
+	0,88	0,87	0,99
<i>Разность показаний K_{ni}</i>	0,11	0,09	0,01
<i>Отношение показаний K_{ni}</i>	0,89	0,91	0,99

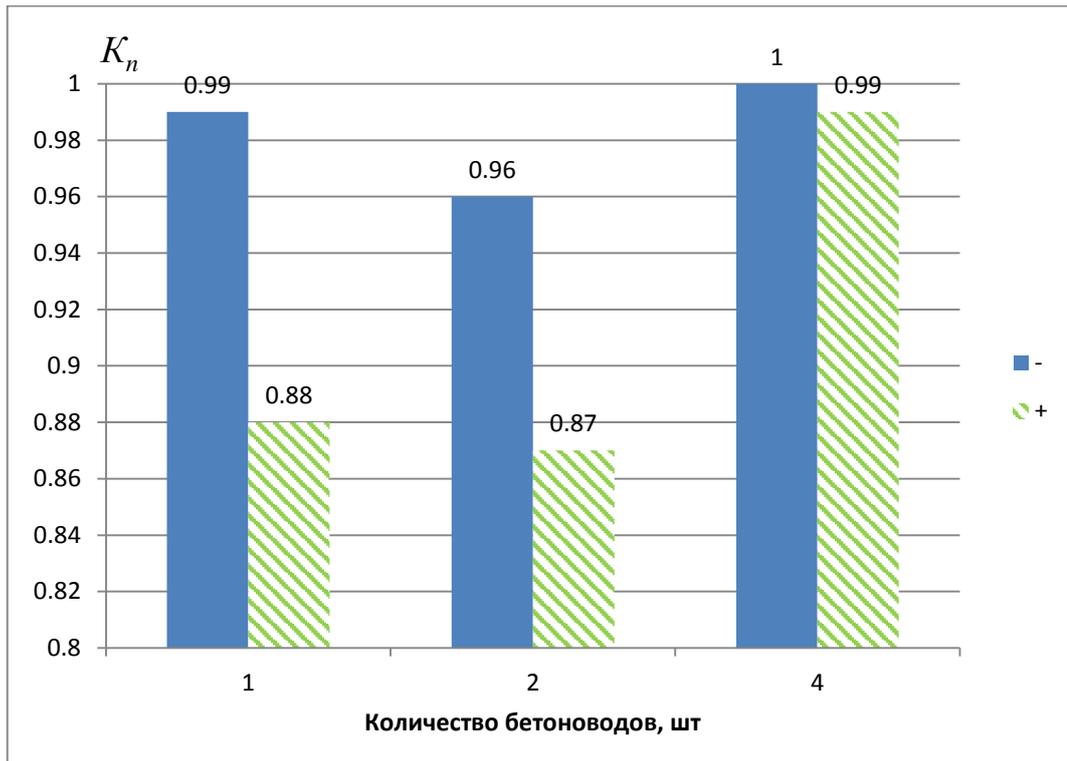


Рис.3.39 Диаграмма соотношения коэффициента заполнения полости для различного количества бетоноводов при наличии (+) и отсутствии (-) включений

Для построения диаграммы использовались оптимальные значения K_n для определенного количества бетоновода в независимости от скорости и места расположения бетоноводов по площади. Как видно из таблицы и диаграммы,

наименьшее влияние наличия включений происходит с увеличением количества бетоноводов, а при 4-х оно стремится к нулю.

На конечном этапе проведения модельных экспериментов, было решено проверить работоспособность разработанной технологии на масштабном макете имеющим большие геометрические размеры (Рис 3.40): диаметр 1,2м, что соответствует 6м в натуре, для определения области применения технологии относительно площади полости.



Рис.3.40 Масштабный макет: 1 – зазор между полостью и опалубкой(подпорная стенка); 2 – технологические включения; 3 – верхнее прозрачное перекрытие(днище оборудования)

Для бетонирования данного макета применялась та же экспериментальная установка, описанная в параграфе 3.1. Отличительной особенностью данного эксперимента являлась не его многоповторность, а воспроизведение реальных условий твердения, для определения усадочных деформаций, а так же оценка качества поверхности после набора прочности бетона.

Изначально на макете было проведено моделирование полости секторного вида в плане. Полость (Рис 3.41) в масштабе 1:5 моделировала полость под

оборудованием, которая подлежала заполнению при проведении натурального эксперимента (Глава 4). Бетонирование производилось посредством одного бетоновода с эквивалентной производительностью $5\text{ м}^3/\text{ч}$. Полученные результаты были использоваться при проведении производственного эксперимента.



Рис. 3.41 Масштабный макет с выделенным сектором

При проверке усадочных деформаций применялась бетонная смесь с нормальными характеристиками по живучести и подвижностью Р6. Подача смеси в макет осуществлялась с четырех сторон при комбинированном расположении бетоноводов. При визуальном осмотре установлено, что качество поверхности идентично макету полости меньшей площади.

По окончании бетонирования бетонная смесь не извлекалась, а набирала прочность в макете в течение 28 суток, что достаточно для прохождения процессов контракционной, влажностной и гидравлической усадки. Учитывая, что поверхность полости закрыта, испарение влаги из бетона – минимально, это обеспечивает значительное снижение внутренних напряжений на поверхности и в

толще бетона при уменьшении объема цементного камня. После демонтажа съемного верхнего прозрачного перекрытия значительных усадочных деформаций по площади обнаружено не было.

Выводы по третьей главе

1. Разработанная экспериментальная установка для проведения модельных многоповторных экспериментальных исследований по заполнению полостей в совокупности с рассчитанными геометрическими и технологическими характеристиками на основании теории подобия гидравлического моделирования подтвердила свою работоспособность и корректность получаемых результатов.

2. Разработанный состав самоуплотняющейся мелкозернистой бетонной смеси обладает способностью длительного сохранения реологических свойств (до 10 суток), что позволяет его применять для проведения технологических экспериментов. Применение таких смесей позволяет проводить многократные технологические эксперименты на одной порции приготовленной бетонной смеси, значительно сократить расход материалов, трудоемкость проведения экспериментов и получать достоверные результаты.

3. Результаты испытаний мелкозернистой самоуплотняющейся бетонной смеси на приспособлении – «клин испытательный ТА-КИ1» показали, что это приспособление может быть использовано для испытаний аналогичных смесей, применяющихся для бетонирования сложных частей ответственных конструкций

4. При математическом планировании экспериментов по определению зависимости количества бетоноводов, скорости истечения на качество заполнения закрытого пространства, обосновывалась достоверность исследований с помощью доверительной вероятности и было установлено, что необходимо провести $N = 15$ экспериментов, чтобы заданному интервалу с $\delta = 1,32$ соответствовала доверительная вероятность $P = 0,96$.

5. Проведенные эксперименты подтвердили теоритические основы выбранной физической модели по распространению бетонной смеси полости.

6. Получены рациональные технологические параметры разработанной технологии, позволяющие с применением стандартного механизированного оборудования производить бетонирования полостей имеющие в своем составе технологические включения.

7. Экспериментально получены аппроксимированные зависимости коэффициента K_n от скорости истечения бетонной смеси и влияния технологических прокладок при бетонировании одним, двумя и четырьмя бетоноводами соответственно.

8. Применяемая в ходе эксперимента самоуплотняющаяся смесь позволяет сохранять плотное сцепление на границе фундамент-оборудование в связи с отсутствием усадочных деформаций на всех этапах набора прочности бетона.

ГЛАВА 4 НАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Характеристики объекта

В результате полученных результатов при проведении модельных экспериментов, в которых была положительно проверена предлагаемая технология, были разработаны рекомендации, в которых указаны рациональные технологические параметры по бетонированию конкретной полости (Приложение В). Данные рациональные параметры были опробованы в ходе производственного эксперимента при возведении натурального фрагмента энергетического аппарата.

Целью настоящего натурального экспериментального исследования является отработка технологии заполнения полости под днищем аппарата с применением промышленного оборудования - бетононасосов и уточнения рациональных параметров бетонирования.

Полость (Рис. 4.1- 4.5) заключена между двумя металлическими листами (опорной плитой, толщиной 30 мм, оснащенной тавровыми ребрами 250мм и основанием оборудования с толщиной листа 50мм). Высота зазора составляла 350мм. В этой полости заключена система горизонтально ориентированных трубопроводов, диаметр труб 108 и 76мм. Поверх системы трубопроводов размещена арматурная сетка А500Ø12 100х100. На сетке смонтированы гибкие гофрированные трубки диаметром 25мм(Рис. 4.1, 4.5). Полость в плане представляет собой сектор в 40° радиусом 3.0м.

За пределами контура образовавшейся полости располагается опалубка, которая имеет в плане дугообразную форму с радиусом изгиба 3,355м. Над полостью она возвышается на 200мм с зазором по контуру в 355мм. В опалубке расположено отверстие под бетоновод.

В предложенной технологии, в соответствии с проектным расположением элементов корпуса, организуется зазор в 355мм по всему периметру бетонлируемой полости. Учитывая особенность возводимого макета, боковые стороны сектора плиты днища были герметизированы металлическими листами опалубки толщиной 10мм. При этом появилась возможность дополнительного

контроля процесса заполнения полости через отверстия диаметром 10мм с шагом 500мм, расположенные по периметру опалубки на уровне нижней плоскости плиты днища. В угловой части плиты было организовано контрольное отверстие, оснащённое полимерной армированной прозрачной трубкой Ду25мм.

Объем бетонируемой полости под днищем составлял $1,1\text{м}^3$

Объем бетонирования с учетом подпорной стенки составлял $1,5\text{м}^3$



Рис. 4.1 Насыщение пространства технологическими проходками (до установки оборудования)



Рис. 4.2 Вид на полость после установки плиты днища без боковой опалубки

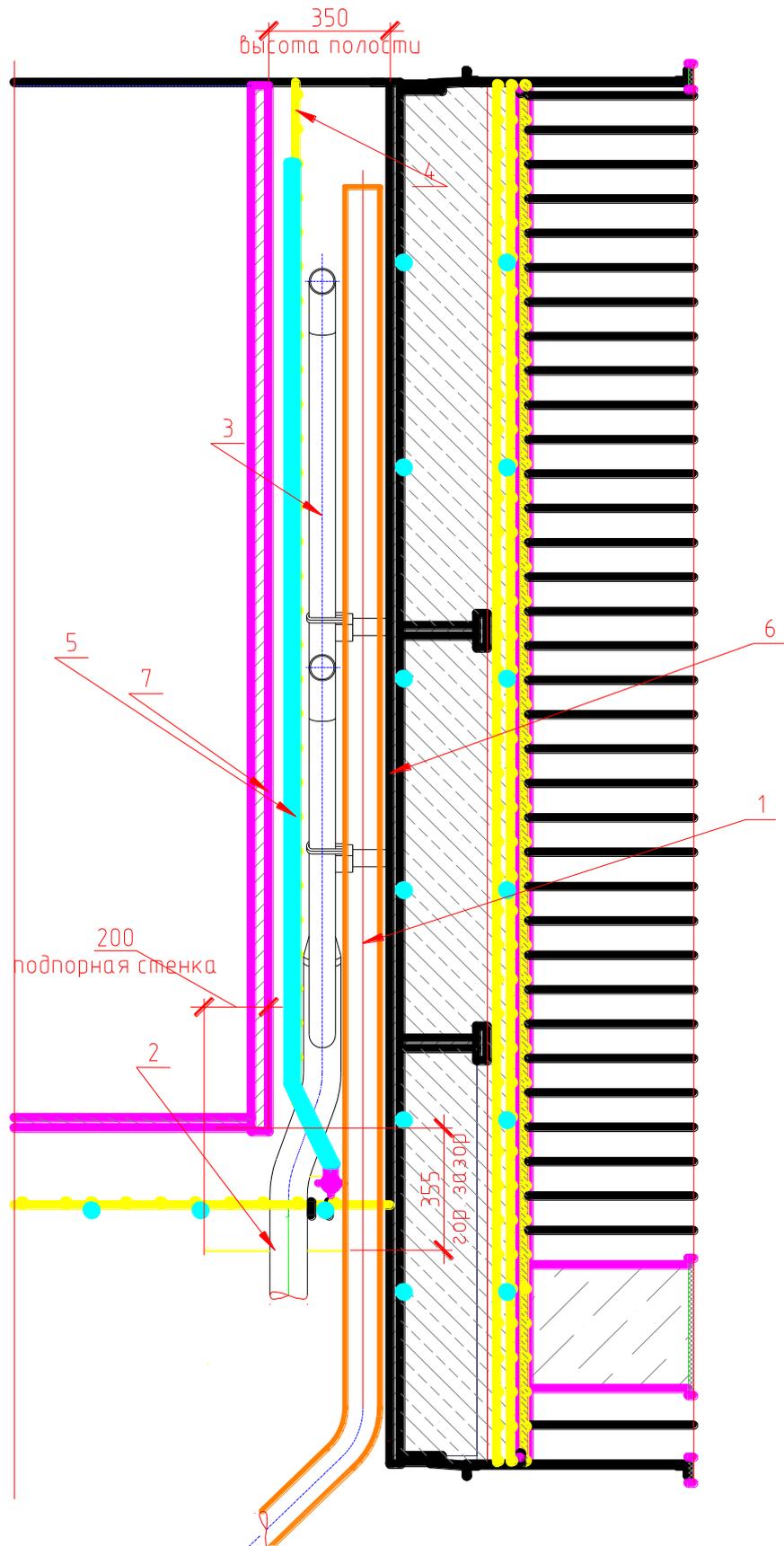


Рис. 4.3 Схема полости(разрез): 1 – бетоновод; 2 - кольцевая съемная опалубка; 3 – трубопроводы; 4- арматурная сетка; 5 – гибкие гофр.трубки; 6 – нижняя металлическая плита; 7 – верхняя металлическая плита.

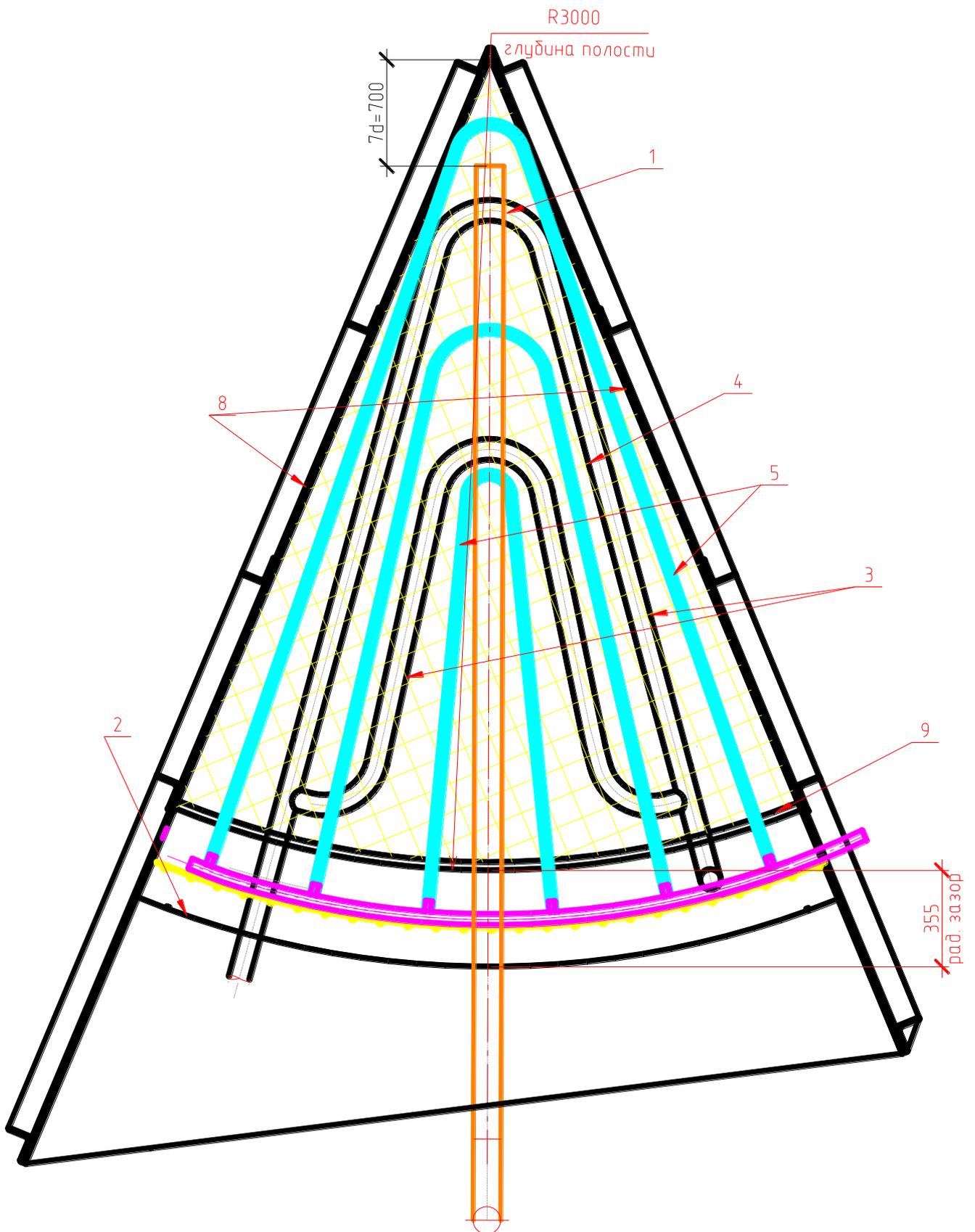


Рис. 4.4 Схема полости(вид сверху): 1 – бетоновод; 2 - кольцевая съемная опалубка; 3 – трубопроводы; 4- арматурная сетка; 5 – гибкие гофрированные трубки; 6 – нижняя металлическая плита; 8-боковая опалубка; 9- оболочка.



Рис. 4.5 Вид полости с торца до бетонирования, насыщение полости, бетоновод

4.2 Экспериментальное оборудование и оснастка

Бетоновод, с рабочим сечением 100мм, располагался в плане по оси сектора, а его устье возвышалось над основанием на 20мм, что равно двум максимальным диаметром крупного заполнителя. От угла сектора, устье бетоновода находилась в 700мм (или 7 диаметров бетоновода). Отверстие под бетоновод имело резиновый уплотнитель с нанесенным поверх него силиконовым герметиком ТИТАН.

В качестве аппарата механизированной подачи бетонной смеси использовался бетононасос роторного типа Vector, смонтированный на базе автомобиля ISUZU (грузоподъемность 6 тонн). Вылет стрелы – 15 м, максимальная высота подачи бетона 45м, производительность 5- 25 м³/час (Рис 4.6).



Рис.4.6 Бетононасос роторного типа

Бетононасос оснащен расходомером с циферблатом со стрелочным индикатором, по которому определяется текущая скорость подачи смеси, а также общий поданный объем бетонной смеси (Рис 4.7). Бетононасос оснащен

приемным бункером-мешалкой для приема бетонной смеси. На бункере установлена решетка для исключения возможности попадания крупных включений в бетоновод.

Гибкий подающий армированный шланг подсоединялся к бетоноводу через фланцевые наконечники при помощи стандартного инвентарного рычажного замка с резиновыми манжетами. Для жесткости фланец от бетоновода крепился к металлическим конструкциям макета.



Рис. 4.7 Расходомер бетонной смеси

При бетонировании применялась самоуплотняющаяся бетонная смесь на габбродиабазовом заполнителе, разработанная 26 ЦНИИ. Состав смеси представлен в Таблице 4.1.

Таблица 4.1

Состав жаростойкого тяжелого бетона

Составляющие		Расход на 1000л, кг	
1.Портландцемент М500 Д0 (ЦЕМ- I)		400	
2.Зола-унос		120	
3.Габбродиабаз, отсев		700	
4.Габбродиабаз щебень фр. 5-10		1050	
5.Микрокремнезем	МБ 10-01	31,5	36
6. С-3		3,5	
7.Вода		228	

Проектная марка БСГ В35Р6F300W6. К бетону предъявлялись следующие требования (Таблица 4.2):

Таблица 4.2

Требования к бетону	
Характеристика	Величина
Класс бетона по прочности на сжатие	В35...В40
Температура длительной эксплуатации конструкций из бетона	420 ⁰ С
Температура кратковременного действия (3 часа) при аварийной ситуации	600 ⁰ С
Класс бетона по прочности на осевое растяжение	не менее В 1,6
Остаточная прочность бетона на сжатие после длительного нагрева не менее	В10
Остаточная прочность бетона на осевое растяжение после длительного нагрева	Не нормируется
Коэффициент теплопроводности	не менее 1,0 Вт/(м ⁰ С)
Марка бетона по средней плотности в сухом состоянии	Не нормируется

В качестве регистрирующей аппаратуры применялась фотокамера Canon 700D, позволяющая производить фотофиксацию в условиях недостаточного освещения.

4.3 Методика проведения эксперимента

В отличие от разработанной технологии, с подачей смеси с нескольких сторон, в данном бетонирование производилось с одним подающим бетоноводом, вследствие чего суммарная скорость подачи для данного типа полости составляла 5м³/ч. Бетонирование полости должно продолжаться до выполнения всех перечисленных условиях:

- появление бетонной смеси во всех торцевых контрольных отверстиях;
- появление смеси в угловом горизонтальном контрольном отверстии с гарантированным столбом бетонной смеси не менее 20мм;
- организация гарантированного подпора со стороны открытой поверхности полости (зазор между оболочкой и коллектором (радиальной несъемной опалубкой)).

Выполнение данных условий в совокупности с применением рациональных параметров гарантировало качественное заполнение полости.

Ход эксперимента. В сформированную полость через отверстие в опалубке в ложементы устанавливался бетоновод. Труба бетоновода имела «г-образную» форму, с выходящей за опалубку вертикальной секцией, что позволяло при отсоединении шланга бетононасоса сохранять столб бетонной смеси. К фланцу бетоновода подсоединялся подающий шланг бетононасоса. В зазоре между основанием и оборудованием устанавливалась фотокамера для фотофиксации процесса с периодичностью в 30 секунд. В угловое отверстие была вставлена прозрачная полимерная армированная прозрачная трубка.

Бетонная смесь готовилась на бетоносмесительном узле ЗАО «Метробетон». Для приготовления применялся двухвальный смеситель с горизонтально ориентированными валами с объемом по загрузке 3 м^3 . Перед укладкой бетонной смеси в полость проводилась проверка её реологических свойств: расплыв обратного конуса составил 63 см, что соответствует марке по удобоукладываемости Р6. Также были заформованы стандартные образцы $100 \times 100 \times 100$ мм для определения физико-механических характеристик (см. Приложение Б). Смесь к бетононасосу доставлялась автобетоносмесителем на базе Mercedes с объемом барабана 8 м^3 . Подавалась смесь в приемный бункер бетононасоса через раздаточный лоток (Рис. 4.8). Приемный бункер оснащен решеткой с размером ячеек 50×50 мм.

Бетонная смесь заполняла пространство (Рис. 4.9-4.12) по ходу движения смеси по бетоноводу до высоты 100 мм, что равно рабочему диаметру бетоновода. После этого смесь, достигнув угла полости, стала продвигаться в противоположную сторону относительно движения по смеси бетоноводу, сохраняя при этом угол равный примерно 15° к горизонту. По мере продвижения бетонной смеси к торцевой опалубке, угол наклона уменьшался. Достигнув опалубки, угол наклона составлял примерно 5° . Уровень бетонной смеси стал подниматься выше устья бетоновода, сохраняя угол наклона по всей площади заполнения. Достигнув уровня высоты труб разогрева (как и в модельных экспериментах), а затем и арматурной сетки, угол наклона поверхности бетонной смеси стал уменьшаться,



Рис. 4.8 Подача бетонной смеси в приемный бункер бетононасоса

непрерывно поднимаясь и сохраняя, все же, минимальный уклон. Соответственно, смесь в начале появилась в контрольном отверстии, находящемся в боковой опалубке в плоскости устья бетоновода. После этого смесь появилась в прозрачной трубке и поднялась на уровень около 25мм (Рис. 4.13). Затем смесь стала появляться последовательно в контрольных отверстиях от угла к радиальному зазору. После появления бетонной смеси в этих отверстиях они заглушались стальными бобышками. Бетонная смесь подавалась по бетоноводу до тех пор, пока не достигла уровня коллектора,

превышающий уровень верхней плоскости полости на 190-200мм.



Рис. 4.9 Начало заполнения полости



Рис. 4.10 Продвижение бетонной смеси с уклоном в 10°



Рис.4.11 Продвижение бетонной смеси с уклоном в 5°



Рис. 4.12 Горизонтирование бетонной смеси после прохождения уровня труб разогрева и арматурной сетки

После окончания бетонирования был произведен замер уровня бетонной смеси в контрольной трубке, который сохранил свое значение равное 25мм (Рис. 4.13). Уровень смеси в радиальном зазоре также остался неизменным. Все это соответствует заданным условиям, в целом эксперимент можно признать успешным.



Рис. 4.13 Уровень бетонной смеси в полимерной прозрачной трубке
По окончанию эксперимента на основании полученных фотоснимков была построена исполнительная схема движения смеси в полости (Рис. 4.14).

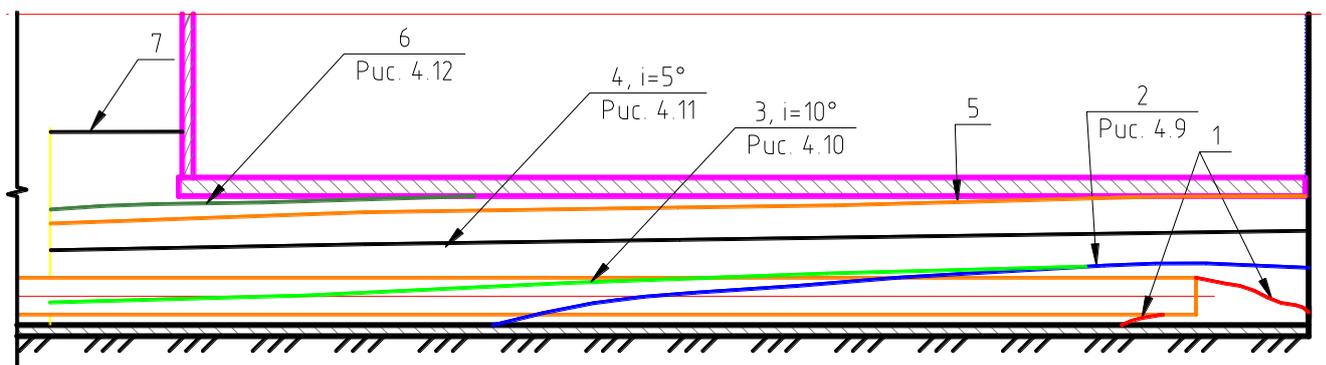


Рис. 4.14 Исполнительная схема движения бетонной смеси в полости: 1...7 Этапы продвижения смеси.

Полученные результаты эксперимента подтверждают правильность выбора технологии и параметров бетонирования полости под центральным днищем БР, и способов контроля заполнения.

После завершения общих испытаний макета оборудования, был произведен его демонтаж, включая поэлементную разборку. Для определения качества стыка бетона с днищем оборудования была демонтирована боковая металлическая опалубка (Рис. 4.15). Как видно на рисунке, поверхность бетона имеет трещины, однако это связано с температурными деформациями (производился нагрев бетона до 600°C). Что касается стыка бетона с металлом, то видно, что этот стык не имеет каких-либо зазоров (Рис. 4.17), что еще раз подтверждает правомерность применения разработанной технологии с отсутствием при этом усадочных деформаций.



Рис. 4.15 Вид на стык бетона с днищем аппарата после демонтажа(демонтажа боковой металлической опалубки): 1. Корпус оборудования; 2. Бетон после тепловых испытаний; 3. Опорная плита



Рис. 4.16 Узел А. Стык бетона с днищем оборудования

Следует отметить, что отсутствие усадочных деформаций достоверно определено только по контуру полости, произвести обследование стыка по всей площади не представлялось технически возможным.

Помимо этого производственного эксперимента ООО «ТЕХНОАРМ+» был проведена еще одна производственная апробация, где автор являлся ответственным исполнителем, с применением нагнетательной технологии. Акт о проведенном бетонировании и его характеристики, характеристики бетонной смеси, прочности образцов приведены в Приложение Б. Забетонированный объем был подвержен длительному воздействию температуры в 420°C . После из массива полости был произведен отбор кернов. Результаты прочности на осевое сжатие указаны в Приложении Д (слои Б 1.1, Б 1.2).

Выводы по четвертой главе

1. В ходе натурального производственного эксперимента была подтверждена теоретическая модель движения бетонной смеси в полости и модель распространения смеси, полученная при модельных экспериментах. Это было достигнуто за счет выполнения заданных условий бетонирования полости под экспериментальным оборудованием;

2. Подтверждена работоспособность разработанной технологии с применением промышленного оборудования - роторного бетононасоса с подачей СУБС в толщу закрытой полости.

3. Доказана правомерность применения масштабных модельных экспериментов для дальнейшей реализации подобранных рациональных технологических параметров в производственных условиях.

4. В ходе демонтажа оборудования, под днище которого осуществлялось бетонирование полости, подтверждено качественное заполнение бетонной смесью полости, в том числе зафиксировано отсутствие усадочных деформаций бетона, что обеспечило качественное сцепление на границе фундамент-оборудование.

ГЛАВА 5 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНИРОВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ И ЕЁ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

5.1 Особенности технологии бетонирования полости под промышленным оборудованием

Бетонирование полостей под промышленными аппаратами является очень ответственной операцией, от которой, в свою очередь, зависит долговечность и срок службы оборудования. Основным отличием бетонирования полости от традиционного бетонирования конструкций в опалубку являются три фактора:

1. Осложнен контроль процесса распространения бетонной смеси и заполнения ею полости;
2. Невозможность достоверной и полной оценки качества заполнения полости после окончания работ (до проведения демонтажа оборудования);
3. Отсутствие возможности исправления при неудачном производстве работ и наличии недопустимых дефектов.

Все эти факторы говорят об особой ответственности при выборе технологии бетонирования полости под оборудованием. Тем самым не так важен технико-экономический эффект разрабатываемых и применяемых в последствии технологий при бетонировании полостей, как получаемые качественные характеристики.

Особенностью разработанного нагнетательного метода является то, что данная технология гарантированно позволяет качественно заполнять труднодоступные пространства при условии соблюдения всех регламентирующих рациональных параметров. В отличие от ранее разработанных технологий, бетонирование полостей под промышленными аппаратами имеет ряд кардинальных технологических отличий:

1. Принудительная подача бетонной смеси в полость;

2. Подача (точка распространения) смеси осуществляется непосредственно в толще самой полости;
3. Бетонирование можно производить с нескольких сторон;
4. Отсутствие вибрационного воздействия на смесь;

Следует отметить, что разработанная технология позволяет производить бетонирование не только самоуплотняющимися смесями, но и смесями которые выполняют требования по перекачке бетононасосами ($OK \geq 8\text{см}$) при воздействии на них дополнительной вибрации. Вибрацию можно производить различными методами, например виброрамкой из арматуры, или глубинными вибраторами (путем крепления их к бетоноводам, в данном случае геом. размеры бетонируемой полости будут ограничены). Однако применять такую технологию возможно *только после проведения модельных экспериментов*, вследствие того, что законы распространения бетонной смеси будут изменены.

По разработанной технологии представляется возможным производить бетонирование с одной стороны, а бетоноводы как замоноличивать, так и производить их изъятия из формовочной полости, не прекращая при этом подачи смеси. В этом случае необходимо рассчитать скорость изъятия бетоновода, которая зависит от скорости истечения бетонной смеси. Технически извлечение бетоновода можно производить множествами способами, например при помощи механической тросовой лебедки. В этом случае на бетоновод одевается обжимной хомут, к которому крепится трос от лебедки. Зная скорость истечения, находится требуемая скорость перемещения троса лебедки, которая должна быть на 15-20% меньше скорости истечения СУБС. В момент вывода бетоновода из отверстия в опалубке необходимо это отверстие мгновенно перекрыть задвижкой. Модельные эксперименты показали, что на конечное качество заполнения объема выем бетоноводов никак не влияет, при этом усилия, затрачиваемые на их выемку, не значительны с учетом действующей реактивной силы. При замоноличивании бетоноводов необходимо учитывать следующий момент: фланец крепления к шлангу бетононасоса должен находиться выше уровня подпорной стенки. После

окончания подачи смеси, шланг отсоединяется от бетоновода, часть бетоновода, выходящая за опалубку при необходимости срезается при демонтаже опалубки.

Немаловажную роль на конечное качество подливки играет герметичность отверстия в опалубке под бетоновод. Возможны следующие варианты герметизации: резиновый манжет, нанесение силиконового или иного герметизирующего состава, комплекс этих мер и др.

Особо следует обратить внимание на способы контроля процесса заполнения полости. Возможно два случая: когда в днище аппарата устраиваются контрольные отверстия (диаметр определяется крупностью заполнителя); устройство отверстий невозможно. Во втором случае можно применить следующую схему (Рис. 5.1).

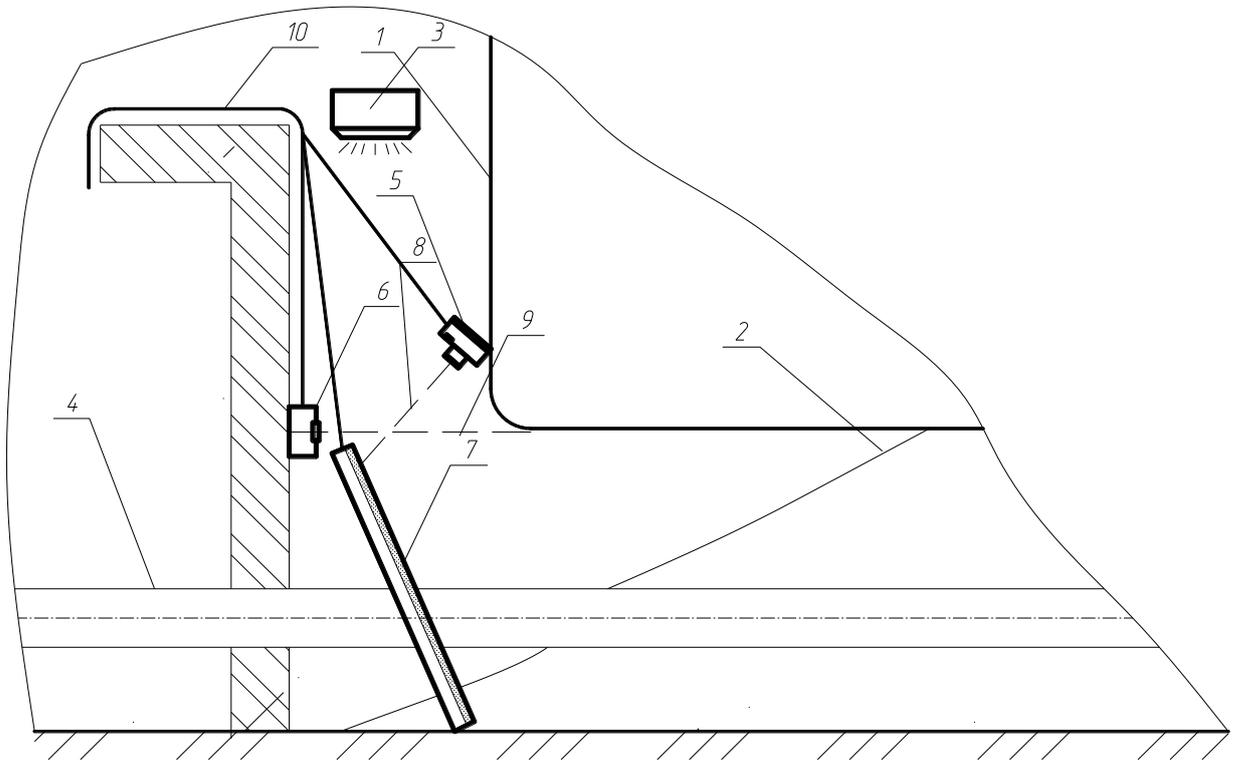


Рис. 5.1. Схема контроля заполнения полости: 1 – корпус оборудования; 2 – условное распространение смеси; 3 – фонарь; 4 – бетоновод; 5 – видеокамера; 6 – лазерный дальномер; 7 – зеркало; 8 – проекция съемки видеокамеры на зеркало; 9 – проекция дальномера (по плоскости днища); 10 – крепежный элемент.

Она заключается в следующем: в зазор между опалубкой и корпусом устанавливается три элемента контроля: лазерный дальномер, видеокамера и зеркало, через которое ведется видеосъемка и наблюдение за распространением смеси. При достижении бетонной смесью днища аппарата, дальномер начинает

«считывать» продвижения смеси, изменение показаний должно происходить постепенно, это гарантирует равномерное заполнение плоскости примыкания бетонной смеси с днищем. Зеркало позволяет наблюдать непосредственно за ходом распространения смеси во время бетонирования.

Видеосъемка осуществляется для фиксации за заполнением и подтверждения качественного заполнения полости, необходимого для подписания акта о скрытых работах.

В качестве строительной смеси в разработанной технологии применяется самоуплотняющаяся бетонная смесь, состав ее может быть различен, автором рекомендован следующий состав бетонной смеси (таблица 5.1), который обладает требуемыми реологическими характеристиками, в частности расплывом обратного конуса Р6.

Таблица 5.1

Пример состава бетона для нагнетательной технологии

Составляющие		Расход на 1000л, кг	
1.Портландцемент М500 Д0 (ЦЕМ- I)		400	
2.Зола-унос		120	
3.Габбродиабаз, отсеб		700	
4.Габбродиабаз щебень фр. 5-10		1050	
5.Микрокремнезем	МБ 10-01	31,5	36
6. С-3		3,5	
7.Вода		228	

Представленный состав относится к тяжелому бетону, однако на данный момент существует возможность перекачивать легкие СУБС, например на керамзитовом гравии. Модель распространения смеси в полости будет отличаться от рассмотренной в параграфе 2.3 с учетом того плотность смеси будет значительно меньше.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований, а также результатов апробации была определена область рациональных параметров (таблица 5.2) производства работ по новой нагнетательной технологии, при которых обеспечивается высокое качество заполнения полости при минимальных затратах труда и высоких темпах работ.

Рекомендуемые параметры производства бетонирования полостей по нагнетательной технологии

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Подвижность бетонной смеси, не менее	P6
2	Количество бетоноводов, шт	1-4
3	Высота полости, мм	150-350
4	Скорость истечения смеси (1/4бетоновода), см/с	11,3/45,2
5	Расположение бетоноводов в полости в плане	2/2
6	Величина подпорной стенки	Не менее 0,5 высоты полости
7	Производительность работ	до 20м ³ в час
8	Тип нагнетального устройства	Роторный бетононасос

Следует отметить, что высота полости указана из учета применения стандартных бетоноводов диаметром 100-125мм, однако при необходимости можно бетонировать полости с меньшей высотой, применяя бетоноводы эллипсоидной формы, в этом случае распространение смеси будет происходить по тем же законам, что и при применении бетоноводов круглого сечения. Верхний предел высоты указан с учетом бетонирования полости в один этап, при превышении значения в 350мм бетонирование целесообразно производить в два этапа.

Бетоноводы в полости прокладываются на высоте от основания примерно на высоту рычажного замка, необходимого для подсоединения подающего шланга. В толще полости бетоновод устанавливается на прокладки так, чтобы организовался горизонт. Зазор между основанием и нижней плоскостью бетоновода необходим для уменьшения сил трения в начальный момент подачи смеси.

Оптимальное количество бетоноводов (четыре) выбрано из условия необходимости и достаточности, т.е. для заполнения полостей площадью в плане 30-50м² и имеющей в своем составе технологические прокладки минимально необходимо 4 подающих органа, применение большего количества бетоноводов нецелесообразно.

Особенности разработанной технологии показаны в разделе ПОС, разработанного АО «Атомпроект», возведения корпуса БР (приложение В), а

также в инструкции по бетонированию корпуса БР, в состав которой входит «Технологический регламент по бетонированию полостей под промышленными аппаратами методом нагнетания», содержащий расчет производительности труда при внедрении технологии, который утвержден 26 ЦНИИ – филиал ОАО «31 ГПИСС» и принят к внедрению этой организацией (Приложение Г).

5.2 Технико-экономическое обоснование применения новой технологии

Оценка технико-экономической эффективности разработанной технологии выполнена на основе учета трудозатрат, поскольку сметная заработная плата линейно связана с трудозатратами через тарифную систему оплаты труда.

За критерий оценки экономической эффективности приняты прямые затраты в соответствии с инструкцией по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве, СН 423-71[51] и инструкцией по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений СН 509-78.[50]согласно которым экономический эффект определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2, \quad (5.1)$$

где Z_1 и Z_2 - приведенные затраты на единицу объема работ (продукции), выполняемых соответственно с применением базовой и новой технологии, руб.;

Снижение трудоемкости:

$$T = T_1 - T_2, \quad (5.2)$$

где T_i – трудоемкости производства работ соответствующих технологий.

Расчет экономической эффективности произведен при сравнении предложенной технологии бетонирования с применением бетононасосной техники и наиболее совершенной известной на данный момент технологии заполнения полостей с применением вибрационного комплексного воздействия. При сравнении составлялась калькуляция на бетонирование полости под промышленным аппаратом диаметром 6м в плане, высота зазора 350мм, объем

полости 16м^3 . Следует учесть, что сравнения данных технологий произведено условно, в связи с тем, что комплексная технология применима для заполнения зазора между основанием и оборудованием с величиной не более **80мм!** Рассматриваемый зазор, величиной в 350мм также имеет технологические включения. Учитывая это, экономическое сравнение носит *условный характер*. При расчете трудозатрат и прямых затрат предполагалось, что в качестве дополнительного воздействия будет применяться четырехуровневая виброобойма с шагом арматурных стержней 200мм. Следует обратить внимание, что технологическое оборудование для комплексной технологии принято согласно данным разработчика[87].

Для расчета норм времени по предлагаемой технологии учитывался реальный опыт производства работ и данные хронологических наблюдений, которые были произведены при проведении экспериментальных натурных исследований.

Расчет амортизационных отчислений

Амортизация вибратора «Красный Маяк» ИВ 35 стоимостью 4500 руб.[100] (у производителя), рассчитанную на 1 год эксплуатации с выработкой до отказа (эксплуатационный срок) 100ч.и принимаем равной 45руб/ч. Для производимого объема количество вибраторов принимаем в количестве 10шт (Таблица 5.3).

Вибратор-Электромотор ИВ99 Б, стоимостью 5100руб., Средняя наработка до отказа (эксплуатационный срок) 700ч[101].Стоимость амортизации принимаем 8руб/ч.

Затраты на амортизацию по вибрационной технологии составляет:

$$A=A_1 \times N_1 + A_2 \times N_2 = (45) \times 10 + 8 \times 4 = 490 \text{руб/ч},$$

Затраты на электроэнергию при вибрировании бетонной смеси:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 \times N_1 + \mathcal{E}_2 \times N_2 = (0,72) \times 10 + 0,5 \times 4 = 9,2 \text{кВт-ч},$$

где \mathcal{E}_1 - энергопотребление вибратора ИВ 35, кВт-ч;

\mathcal{E}_2 - энергопотребление вибратора ИВ 99Б, кВт-ч;

N_i -количество потребителей каждого типа, шт.

Сравнения квалификационного состава звена, занятых при бетонировании, оборудования и состава работ.

Технология устройства подливки под промышленное оборудование с применением дополнительного вибрационного воздействия на бетонную смесь	Предлагаемая технология
Квалификационный состав звена	
Машинист автобетоносмесителя – 1 чел.	Машинист автобетоносмесителя – 1 чел
Электрик IV разряда – 1 чел.	Машинист бетононасосабразряда – 1 чел.
Бетонщик-арматурщик: 4р -2чел; 3р -1чел.	Бетонщик 4р -1чел; 3р -1чел
Слесарь строительный 4р-1чел.; 3р.-1чел.	Слесарь строительный 4р-1чел.; 3р.-1чел.
Машины и технологическое оборудование	
Автобетоносмеситель – 1 шт.	Автобетоносмеситель – 1 шт.
Вибратор «Красный Маяк» ИВ 35- 10шт	Автобетононасос в комплекте с разветвителем 1 шт.
Вибратор- Электромотор ИВ99 Б(42в)- 4шт.	-
Технологические операции по устройству монтажной подливки	
1. Установка опалубки с отверстиями	1. Установка опалубки с отверстиями
2. Установка арматурных стержней в четыре уровня	2. Установка манжета
3 Изготовление лотка накопителя	3. Прокладка бетоновода
4 Монтаж навесного оборудования	4. Герметизация зазора
5 Монтаж вибратора для виброобоймы	5 Укладка бетонной смеси
6. Укладка бетонной смеси – 1,35 м ³	6 Обрезка труб
7. Обрезка арматуры	7 Демонтаж опалубки
8. Демонтаж навесного оборудования	-
9. Демонтаж опалубки	-

При производстве бетонирования применяются следующие материалы

- для вибрационной технологии:

- Арматура Ø 8А400 - 840м.п., 332 кг, общая стоимость 10000 руб;
- Металлический лист для лотка δ=2мм, -300кг, стоимость – 8100 руб;
- Бетонная смесь П2В35, стоимость одного м³ - 3700руб;
- Дополнительные крепежные приспособления.

- для разработанной технологии

- Бетонная смесь Р6В35, стоимость одного м³- 5200 руб;
- Манжета резиновая, 4шт. Диаметр 110 мм, стоимость 1-ой шт. - 81руб;
- Герметик силиконовый - 76руб;
- Труба 102х1,5 ГОСТ 8734-75., вес 1м.п= 3,718кг, 2шт. длинна 3,5м, 2шт. длинна 1,5м, стоимость 1м.п.148 руб,
- Фланец бетоновода - 110руб, 4шт.

Стоимость данных материалов принята исходя из среднерыночной стоимости данных материалов по Северо-Западному региону на октябрь 2014г. При подсчете бетонной смеси не учтены потери при бетонировании, хотя с учетом очистки бетонопроводов поролоновым шаром они сводятся к нулю, в отличие от вибрационной технологии, где потери материала на лотке составляют 5%.

На основании действующих норм была произведена калькуляция трудозатрат на бетонирование полости под промышленным аппаратом диаметром 6м в плане, высота зазора 350мм, объем полости 16м³ по разработанной нагнетательной технологии (Таблица 5.4) и гипотетически применимой к бетонированию данной полости технологи комплексного вибрационного воздействия на бетонную смесь, подаваемой из лотка накопителя (Таблица 5.5)

Таблица 5.4

Калькуляция трудозатрат по разработанной нагнетательной технологии

Процессы	Ед. изм.	К-во общее	Состав звена	Продолжительность работы, ч.	Норма времени		Обоснование
					На ед.	На объем	
Устройство металлической опалубки	на 1м ² пов-ти	23,00	Слесари строительные: 4р-1чел.; 3р.-1чел.	7,82	0,41	9,43	§ В14-4-21,1
Разборка металлической опалубки	на 1м ² пов-ти	23,00			0,27	6,21	§ В14-4-21,1
Устройство отверстий в опалубке	на 100шт.	0,04			1,4	0,056	§ Е40-2-6,1
Установка манжета, герметизация отверстия	на 10 м.п.	0,14	Машинист БН: 1р.-1чел.; Бетонщик и: 4р - 1чел; 3р - 1чел.	2,3	3,6	0,504	§ Е22-1-1,6
Нагнетание бетонной смеси в полость	на 1м ³	16			0,05	0,8	§ В14-4-26,в*
Монтаж бетонопроводов	на 100м	0,14			25	3,5	§ В14-4-25, 1, 2, 3
Очистка бетонопроводов	на 100м	0,14			2,6	0,364	
Обрезка труб	на 1 шт.	4		0,4	0,1	0,4	
Итого						21,2**	

*Применительно к данной операции, трудозатраты взяты из фактического времени заполнения полости с производительностью 20м³/ч

** без учета трудозатрат машиниста бетононасоса

Таблица 5.5

Калькуляция трудозатрат по существующей технологии

Процессы	Ед. изм.	К-во обще	Состав звена	Продолжительность работы, ч.	Норма времени		Обоснование
					На ед.	На объем	
Устройство металлической опалубки	на 1м ² пов-ти	23	Слесари строительные: 4р-1чел.; 3р.-1чел.	7,82	0,41	9,43	§ В14-4-21,1
Разборка металлической опалубки	на 1м ² пов-ти	23			0,27	6,21	§ В14-4-21,1
Устройство отверстий в опалубке	на 100шт.	1,2	Арматурщики: 4р-1чел.; 3р.-1чел.	9,54	0,47	0,564	§ Е40-2-6,7
Установка арматурных стержней в четыре уровня	на 1 т	0,332	Слесари строительные: 4р-1чел.; 3р.-1чел.	9,25	16	5,312	§ Е4-1-46-7,в
Изготовление лотка накопителя	на 1 т	0,3			22	6,6	§ Е40-2-22,а
Монтаж навесного оборудования	на 1 т	0,3			22	6,6	ГЭСН 37-01-001-4
Монтаж вибратора для виброобоймы	на 1 шт.	4	Электрик IV разряда – 1чел.	1,2	0,3	1,2	Данные разработчика(фактический хронометраж)
Укладка бетонной смеси	на 1м ³	16	Бетонщик и: 4р - 2чел; 3р - 1чел.	5,92	1,11	17,76	
Обрезка арматуры	на 100шт.	1,2	Арматурщики: 4р-1чел.; 3р.-1чел.	1,93	0,47	0,564	§ Е40-2-6,7*
Демонтаж навесного оборудования	на 1 т	0,3	Слесари строительные: 4р-1чел.; 3р.-1чел.	1,65	11	3,3	§ Е40-2-22,а**
Итого				37,31		57,54	

* применительно

** трудозатраты по демонтажу взяты из расчета ½ трудозатрат на монтаж

Заработная плата нормативная взята согласно расценкам соответствующим обоснованием к технологической операции с учетом и рассчитана согласно «Индексам изменения сметной стоимости на 2 квартал 2014 год. Минстрой России Письмо № 8367-ЕС/08 от 15.05.2014»[48] путем перемножения на коэффициент(6,09) и коэффициента перевода расценок 1986 в базовые цены 2000г[71].

Учитывая что нормативная заработная плата не соответствует рыночной реальной оплате труда, произведен перерасчет их в рыночную заработную плату(ЗПр)

исходя из трудоемкости работ и из условий оплаты одного рабочего 3-4разряда в 200руб/чел-ч.

Таблица 5.6

Расчет экономической эффективности разработанной технологии

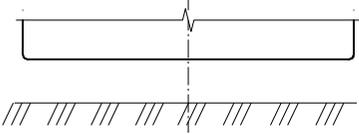
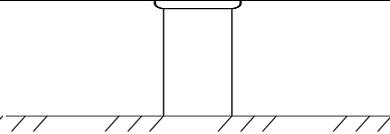
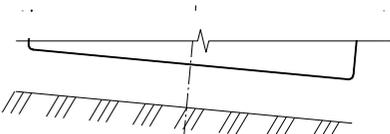
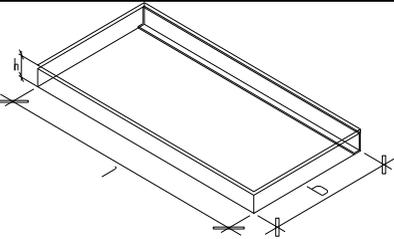
Наименование	Комбинированная вибрационная технология	Предлагаемая технология
<i>Трудоемкость работ, ч-час</i>	57,5	21,2
<i>Состав звена, чел</i>	6	4
Снижение трудоемкости T, чел-ч(%)	-	36,3(63%)
Зарботная плата нормативная ЗП, руб	1642,85	605,7
Зарботная плата рыночная ЗПр, руб	11500	4240
Стоимость бетонной смеси	59200	83200
Стоимость материалов и доп. приспособлений	18100	2244
Амортизация оборудования	3626	-
Аренда оборудования	10000	2800+3150
Энергоемкость Э, квт-ч	9,2	-
Затраты на электроэнергию	232	-
Прямые затраты ПЗ, руб	92800,85	91999,7
Прямые затраты ПЗр	102658	95634
Экономический эффект Э, руб	-	7024
Экономический эффект Э, %	-	7%

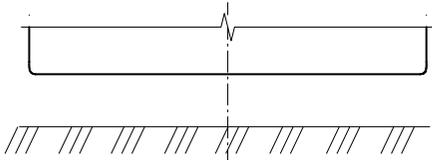
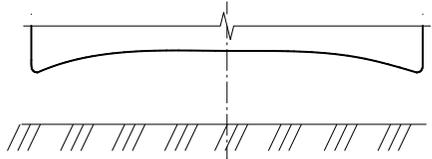
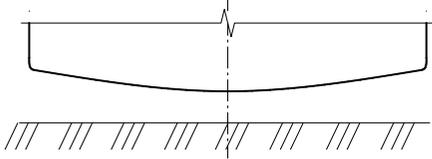
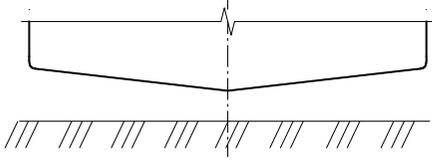
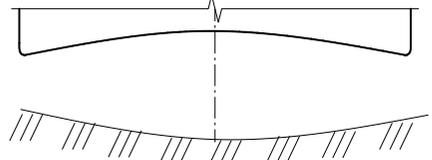
Таким образом установлено (таблица 5.6), что работы по бетонированию полостей под промышленным оборудованием, выполненные согласно предложенной нагнетательной технологии в стоимостном выражении экономически выгоднее на 7%по сравнению с технологией с применением дополнительной вибрации на смесь подливочного состава. Это достигнуто за счёт снижения трудозатрат на 63%. При этом увеличение толщины зазора, в отличие от ранее разработанных способов, не сказывается на трудоемкости работ, а стоимость производимых работ увеличивается только за счет увеличения расхода бетонной смеси.

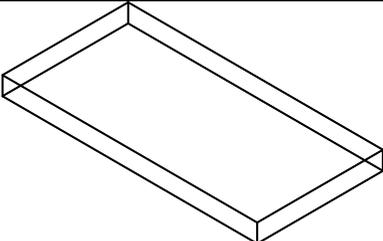
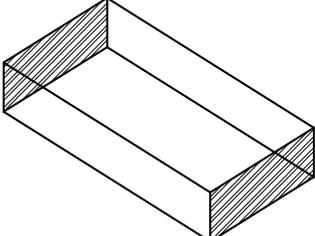
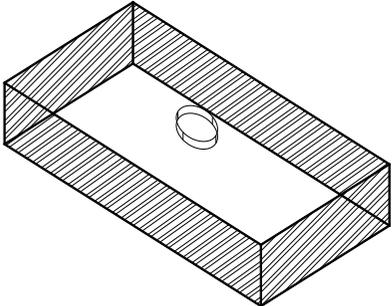
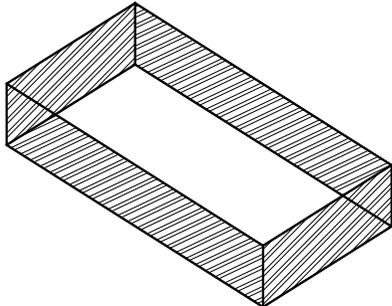
5.3 Рекомендации по бетонированию различных конструктивных типов полостей

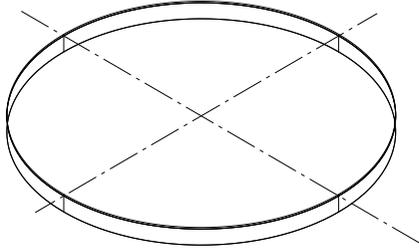
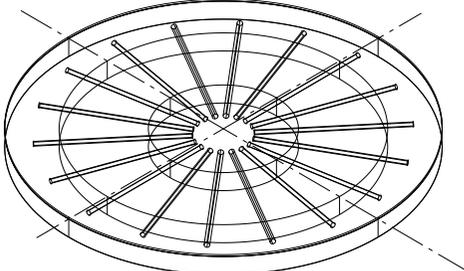
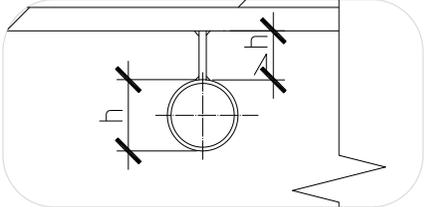
На основании проведенных исследований соискателем разработана следующая классификация полостей и рекомендации по их бетонированию, представленные в таблице 5.7. Выявленные особенности были получены автором, помимо анализа литературных источников, при проведении модельных экспериментов по большинству приведенных ниже полостей (непоказанных в диссертации).

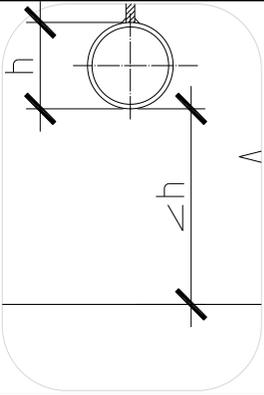
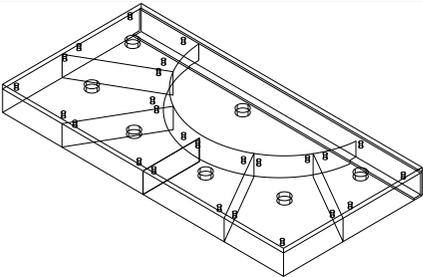
Классификация полостей

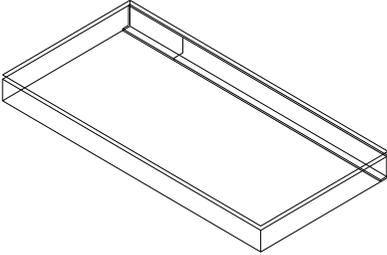
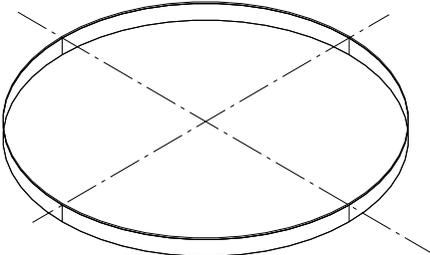
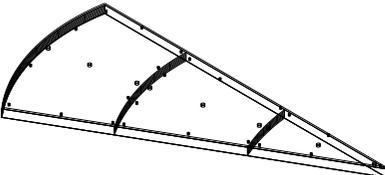
№ п/п	Характеристика полости	Вид полости	Схема полости	Возможный способ бетонирования*	Рекомендации, примечания**
1	Ориентация в пространстве	1.1 Горизонтальная		1-4, 6	
		1.2 Вертикальная		1-3, 6	
		1.3 Наклонная		1-3	Бетонирование можно производить только со стороны с наибольшей вертикальной отметкой.
2	Соотношение площади($S=l \cdot b$) полости к ее высоте(h)	2.1 Более 500		1-6	При больших площадях и малой высоте полости возникает трудности по ее заполнению в связи с увеличением сопротивления продвижения бетонной смеси. Кроме того возможно защемление воздуха при движении встречных «потоков» бетонной смеси, к такому результату может привести подача смеси с периферии с нескольких сторон.
		2.2 100-500			
		2.3 100-20			
		2.4 Менее 20(при h больше 100мм)			

№ п/п	Характеристика полости	Вид полости	Схема полости	Возможный способ бетонирования*	Рекомендации, примечания**
3	Форма поверхностей	3.1 Параллельные		1-6	<p>Применение аппаратов с вогнутой поверхностью крайне нежелательно, т.к. затруднено удаление воздуха из верхней части полости и образовании воздушной линзы по центру днища.</p> <p>Бетонирование в таком случае возможно только из центра сверху, но устройство технологических отверстий в днище аппарата зачастую невозможно. Выпуклая конусная форма поверхности днища аппарата позволяет произвести монтаж оборудования путем погружения в свежееуложенную бетонную смесь на выверенные опоры</p>
		3.2 Вогнутая		3,5	
		3.3 Выпуклая		6	
		3.4 Конусная		6	
		3.5 Взаимно выпукло-вогнутые поверхности		3	

№ п/п	Характеристика полости	Вид полости	Схема полости	Возможный способ бетонирования*	Рекомендации, примечания**
4	Доступ к полости	4.1 Открыт по периметру		1-6	<p>Устройство опалубки по контуру открытых сторон с зазором от обреза плоскости полости. Опалубку следует монтировать выше горизонтального уровня полости.</p> <p>Бетонирование производится до момента появления бетонной смеси выше горизонтальной плоскости полости по всему контуру.</p>
		4.2 Частично открыт по периметру		1-6	
		4.3 Частично открыт по верхней плоскости		3,5	<p>Контроль при заполнении пространства под плитой между вертикальными ограничителями осуществляется при помощи контрольных отверстий</p>
		4.4 Закрыт		5	<p>В основном, объем таких полостей достаточно мал. Образуются они в результате дефектов при возведении конструкций. Для их устранения возможен вариант с инъецированием через малые отверстия.</p>

№ п/п	Характеристика полости	Вид полости	Схема полости	Возможный способ бетонирования*	Рекомендации, примечания**
5	Наличие включений	5.1 Без включений		1-6	Наличие включений существенно осложняют процесс заполнения полости бетонной смесью. В таких случаях целесообразно перед принятием технологии заполнения производить моделирование, чтобы проследить процесс заполнения пространства бетонной смесью и подобрать оптимальные параметры бетонирования: подвижность смеси; скорость подачи бетонной смеси; способ подачи бетонной смеси и др. Моделирование позволит так же уточнить оптимальное расположение проходок (по высоте полости) для обеспечения надежного заполнения полости бетонной смесью
		5.2 Трубчатые		2,3	
		5.3 Сложной конфигурации			
5.а	Расстояние по высоте включений от поверхности	5.а.1 Без зазора			
		5.а.2 Меньше высоты включения			

№ п/п	Характеристика полости	Вид полости	Схема полости	Возможный способ бетонирования*	Рекомендации, примечания**
		5.а.3 Больше высоты включения			
6	Качество поверхности оснований	6.1 Гладкое		1-6	
		6.2 Шероховатое		1-3,5,6	
		6.3 Ребра, выступы и т.п.		2,3	Наличие ребер также как и включения значительно осложняют бетонирования полостей. Рекомендации в данном случае схожи с рекомендациями при наличии в полости включений(см. п.5 данной таблицы)
6.1	Материал поверхности	Металлическое		1-6	В целом материал поверхности незначительно влияет на выбор применяемой технологии бетонирования.
		Бетонное			
		Деревянное			
		Полимерное			

№ п/п	Характеристика полости	Вид полости	Схема полости	Возможный способ бетонирования*	Рекомендации, примечания**
7	Конфигурация сечения в плане	7.1 Прямоугольное		1-6	Как и в случае с материалом поверхности образующих полость, конфигурация полости в плане мало влияет на применяемую технологию бетонирования. Наиболее благоприятной конфигурацией полости можно считать круглое сечение, так как в ней отсутствуют углы, в которых может происходить защемление воздуха.
		7.2 Круглое		1-6	
		7.3 Клиновое		2,3,5	Наличие «клина» увеличивает вероятность образования воздушных включений в бетонном массиве, поэтому необходимо применять литые бетонные смеси способные исключить защемления воздуха.
		7.4 Сложной формы			
8	Объем	8.1 Малый	$< 0,1 \text{ м}^3$	5	
		8.2 Средний	$0,1-2 \text{ м}^3$	1-6	
		8.3 Большой	$> 2 \text{ м}^3$	1-3,6	

*Нумерация в соответствии с классификацией способов бетонирования приведенной в параграфе 2.1

**Рекомендации даны с учетом проведенных автором модельных экспериментов на масштабных макетах

Из приведенной выше классификации полостей видно, что на данный момент имеется значительное поле для исследований в области бетонирования различных типов полостей, выявления их особенностей и разработки технологии заполнения полостей строительными смесями. Также очевидно, что при разработке технологии бетонирования полостей под различными промышленными аппаратами необходимо проводить модельные эксперименты, в связи с тем, что моделирование позволяет учесть большинство факторов влияющих на качественное заполнение пространства бетонными и другими строительными смесями.

Выводы по пятой главе

1. Определены рациональные области применения технологических параметров процессов производства бетонирования полостей по нагнетательной технологии.

2. Выявлены особенности разработанной технологии, кардинально отличающую ее от существующих. Показана схема контроля процесса за заполнением бетонируемой полости, позволяющая подтверждать качество заполнения полости.

3. Представленные возможные технологические решения проведения бетонирования по разработанной технологии с применением различных видов смесей, с вариантами замоноличивания бетоноводов или отсутствия такового, показывают широкую область применения разработанной технологии, а также пути ее совершенствования.

4. Расчет технико-экономического эффекта предложенного технологического решения в сравнении с известными способами производства бетонирования полостей показал, что работы, выполненные согласно предложенной нагнетательной технологии в стоимостном

выражении экономически выгоднее на 7% , что достигнуто за счёт снижения трудозатрат на 63%.

5. Разработаны основы «Технологического регламента по бетонированию полостей под промышленными аппаратами методом нагнетания», содержащий расчет производительности труда при внедрении технологии, который в дальнейшем был утвержден 26 ЦНИИ и принят к внедрению этой организацией.

6. Разработана классификация конструктивных типов полостей, в составе которой приведены рекомендации по их бетонированию, при этом выявлено что существует ряд перспективных конструктивных типов полостей не имеющих на данный момент применимых к ним технологий бетонирования

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам работы по диссертации получены следующие выводы:

1. Анализ существующих методов бетонирования полостей под промышленными аппаратами показал, что в современной практике строительства применяются вибрационные способы подливки бетонных смесей под оборудования, имеющие ряд ограничений по их применению. Установлены пути снятия этих ограничений путем применения нагнетательной безвибрационной технологии бетонирования полостей.

2. Предложено новое технологическое решение метода бетонирования полостей под промышленными аппаратами с использованием промышленных бетононасосов с подачей бетонной смеси с нескольких сторон.

4. Предложена физическая модель распространения бетонной смеси в полости, которая позволяет достоверно представлять ход процесса.

3. Определен параметр, позволяющий количественно оценить качество заполнения полости, а также составлена функциональная зависимость этого показателя от шести переменных, позволяющая прогнозировать этот параметр

5. Показана возможность проведения длительных многоразовых модельных экспериментов на одной партии бетонной смеси обладающая высокой степени живучести с сохранением постоянных реологических свойств.

6. Определены закономерности влияния исходных параметров технологического процесса (расположение бетонопроводов, скорость истечения бетонной смеси, наличие включений) на конечные качественные показатели получаемого монолитного бетонного слоя.

7. Результаты проведения производственных экспериментов подтвердили возможность проведения работ по новой разработанной технологии с применением бетононасоса подающего самоуплотняющуюся

бетонную смесь в полость, имеющую в своем составе трубопроводы и другие технологические включения.

8. Определены рациональные параметры разработанной технологии бетонирования полостей по нагнетательной технологии и область ее применения.

9. Расчет технико-экономического эффекта предложенного технологического решения в сравнении с известными способами производства бетонирования полостей показал, что работы, выполненные согласно предложенной нагнетательной технологии позволяют достигнуть снижения трудозатрат на 63%.

10 Разработан «Технологический регламент по бетонированию полостей под промышленными аппаратами методом нагнетания», содержащий расчет производительности труда при внедрении технологии, который утвержден 26 ЦНИИ – филиал ОАО «31 ГПИСС» и принят к внедрению этой организацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.Н. Исследование сопротивлений при перекачке бетонных смесей по трубам: автореф. дис. канд. техн. наук / Всесоюзн. науч.-исслед. ин-т оснований и фундаментов. М.: 1952. - 16с.
2. Алексеев С.Н. Насосный транспорт бетонной смеси. / Всесоюзн. науч.-исслед. ин-т оснований и фундаментов. / Гос. изд. лит. по строительству и архитектуре. - М.: 1952. - 40с.
3. Анпилов С.М. Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона – М.: АСВ, 2010. - 592с.
4. Арабаджян И.Р., Вибрационная укладка бетона под водой в условиях Севера – М.: 1977. – 54с.
5. Атаев С.С. И др. Механизация строительства - М.: Стройиздат, 1973. – 325с.
6. Афанасьев Н.Ф., Целуйко М.К. Добавки в бетоны и растворы.-Киев: Будивельник, 1989. -128 с.
7. Ахвердов И.Н. О режиме движения цементного теста и раствора при перекачивании насосами // Строительная промышленность, - №2, 1952.
8. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. - М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
9. Бадьин Г.М. Технология строительного производства / Учебник для студентов вузов по специальности ПГС. JL: Стройиздат, 1987. - 606 с.
10. Бадьин Г.М., Завадскас Э.К., Пелдшус Ф.Ф. Игровое моделирование при подготовке строительного производства. JL: ЛИСИ, 1989. – 103 с.
11. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: АСВ, 2007 - 528 с.
12. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны / Научное издание. -М.: Ассоциации строительных вузов, 2006. - 368 с.
13. Баженов Ю.М., Лесовик В.С., Савин Д.В., Толыпина Н.М. Модифицированный безгипсовый портландцемент для монолитного

- строительства : монография; Федер. агентство по образованию, Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова. - Белгород : БГТУ, 2009. - 79 с.
14. Балицкий В.С. Марченко Л.С. Бетонные работы. (Технология и организация). Киев: Будивельник, 1977 г. - 240 с.
 15. Батудаева А. В. Высокопрочные бетоны из самовыравнивающихся смесей для густоармированных конструкций: дис. канд.тех. наук : 05.23.05.- М., 2005.- 143 с.
 16. Белецкий Б. Ф., Булгакова И.Г. Строительные машины и оборудование. – Ростов н/Д.: Феникс, 2005. – 608с.
 17. Белов В.П. Монолитный железобетон. - М : Знание, 1977. - 64 с.
 18. Бетонирование железобетонных конструкций без применения опалубки :Из опыта Моск. треста по строительству набережных и мостов и треста "Мосфундаментстрой-2" Главмосстроя /Акад. строительства и архитектуры СССР. Науч.-исслед. ин-т организации, механизации и техн. помощи строительству. БТИ. – М.: Б. и., 1959. - 15 с.
 19. Болотских О.Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика. Часть 1.//Технологии бетонов. - 2008. - №10. - с. 28-30
 20. Болотских О.Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика. Часть 2.//Технологии бетонов. - 2008. - №11. - с. 34-36
 21. Быков В.Н., Варанкина Л.А., Окороков В.М., Добрянский А.М. (сост.). Лопастные и роторные насосы. Каталог М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1985. — 41 с.
 22. Быховский А.И. Растекание. Киев: Наукова думка, 1983. - 191с.
 23. Ведомственные строительные нормы вибрационная укладка бетона под водой и глинистым раствором ВСН 261-86Минмонтажспецстрой СССРМ: 1987. – 36с.
 24. Ведомственные строительные нормы МСН 188-68 Минмонтажспецстроя СССР. Указания по бесподкладочному монтажу оборудования химической промышленности. Составитель И.Р. Арабаджян. - М: ЦБТИ, 1968. - 11с.

25. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб.для вузов. — 6-е изд. стер. — М.: Высш. шк., 1999.— 576 с.
26. Верстов В. В., Тишкин Д. Д., Романовский В. Н. Основные результаты исследования вибрационной технологии подливки бетонной смеси под промышленное оборудование при монтаже // Вестник гражданских инженеров. — 2014. — № 2 (43). — С. 86–92
27. Верстов В.В. Совершенствование технологии бесподкладочного монтажа промышленного оборудования / В. В. Верстов, Д. Д. Тишкин, В. Н. Романовский // Монтажные и специальные работы в строительстве— 2013. — №7.
28. Верстов В.В. Совершенствование технологии бетонирования полостей под днищами промышленных аппаратов/ В.В. Верстов, С.Н. Панарин, А.С. Малинкин// Монтажные и специальные работы в строительстве.— М:ОАО «Корпорация»Монтажспецстрой»,2013. — №8. – С.2-5
29. Верстов В.В., Хайкович Д.М., Буданов Б.А. Новая механизированная технология штукатурных работ с применением сухих смесей. // Новые технологии в строительстве доступного жилья: Сборник докладов научно-практической конференции / СПбГАСУ. СПб., 2005.– С.6-8
30. Верстов В.В., Хайкович Д.М., Буданов Б.А. Технология производства штукатурных работ с применением сухих смесей методом нагнетания. // Популярное бетоноведение, №5, 2005.– С.12-15
31. ВСН 361-85. Установка технологического оборудования на фундаментах–М: Минмонтажспецстрой СССР,1986.– 32с.
32. Головачев И.М. Исследование технологии инъекционного формования тонкостенных изделий из мелкозернистого бетона: автореф. дис. канд. техн. наук. Л.: ЛИСИ. 1973. – 22с.
33. ГОСТ 26633-85 «Бетон тяжелый. Технические условия». — М.: Изд-во стандартов, 1986 г. – 29с.
34. ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия.- М: "НИИЖБ" - филиалом ФГУП "НИЦ "Строительство",2011-45с.

35. Государственный строительный комитет СССР письмо от 6 сентября 1990 г. N 14-Д
36. Гусаков А.А. и др. Моделирование и применение вычислительной техники в строительном производстве: справочное пособие - М. :Стройиздат, 1979. - 286с.
37. Дмитриевский В. И. Подводное бетонирование. М.: Транспорт, 1972. – 312с.
38. Добронравов С.С., Дронов В.Г. Строительные машины и основы автоматизации. – М. :Высш. шк., 2001- 575с.
39. Дронов С.С., Дронов В.Г. Строительные машины и основы автоматизации: Учебник для строительных вузов. – М.: Высшая школа, 2006. – 376с.
40. Евдокимов Н, Мацкевич А., Сытник В. Технология монолитного бетона и железобетона М.: Книга по Требованию, 2012 – 334с.
41. Европейский комитет по стандартизации – CENEUROСТАНДАРТ EN 206-1Бетон – Часть 1: общие технологические требования, производство и контроль качества.
42. Европейский стандарт EN 206:2011 «Бетон. Технические требования, производство и контроль качества». CEN TC 104.2011.
43. Евстифеев В.Н. Трубопроводный транспорт пластичных и сыпучих материалов в строительстве. М.: Стройиздат, 1989. - 248с.
44. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы: ЕНиР Е4-1. Сборник Е4. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Выпуск 1. Здания и промышленные сооружения – М.: Госстрой СССР, 1987. – 78с.
45. Есьман И.Г. Насосы 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Гостоптехиздат, 1954. - 288 с.
46. Ивянский Г.Б. Инструкция по транспортированию и нагнетанию строительных растворов по трубопроводам. - М.: Госстройиздат,1962. - 72с.

47. Ивянский, Г.Б. и др. Технологии заделки стыков сборных железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1966. - 197с.
48. Индексы изменения сметной стоимости на 2 квартал 2014 год. Минстрой России Письмо № 8367-ЕС/08 от 15.05.2014
49. Инструкция к роторному бетононаосу. – Краснодар: Спецавто, 1992. - 32с.
50. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений СН 509-78.
51. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве, СН 423-71.
52. Инструкция по транспортировке и укладке бетонной смеси в монолитные конструкции с помощью автобетоносмесителей и автобетононасосов 23-02 2002
53. Кирнев А.С., Волосухин В.П. Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона, инженерного назначения и в особых условиях строительства – М.:Феникс, 2008. – 546с.
54. Коваль И.В. Литьевая технология возведения монолитных железобетонных конструкций с использованием химических добавок :автореф. дис. к.т.н. 05.23.08 /Белорус. гос. политех. акад.. - Новополоцк, 1999. - 20с.
55. Кузьмичев В.А. Виброреология в технологии строительного производства // Вестник гражданских инженеров. — 2014. — № 6 (47). — С. 140–144.
56. Кузьмичев В.А. Основы проектирования вибрационного оборудования: Учебное пособие. - СПб.: Лань, 2014. – 208с.
57. Кузьмичев В.А. Виброреология строительных смесей.// Статья Вестник Волгоградского архитектурно – строительного университета Волгоград 2012 Выпуск 27 (46).– С.12-15

58. Латышева Л.Ю., Смирнов С.В. Бетоны нового поколения для быстрого и прочного строительства // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2000.- № 3. – С.19-25
59. Лебедев А.Н. Моделирование в научно-технических исследованиях /. – М: Радио и связь, 1989 . – 223с.
60. Ляхтер В.М., Прудовский А.М. Гидравлическое моделирование – М.: 1984. – 392с.
61. Малинкин А.С. Моделирование технологических процессов бетонирования закрытых полостей. / А.С. Малинкин // Актуальные проблемы современного строительства: III Международный конгресс. – СПб: СПбГАСУ, 2014. – Ч1.С.239-242
62. Малинкин А.С. Особенности технологии бетонирования полостей под днищами промышленных аппаратов. Классификация полостей/ А.С. Малинкин // Вестник гражданских инженеров. – СПбГАСУ. – 2014. – №6(№47) — С. 145–149
63. Малинкин А.С. Состояние технологических решений бетонирования закрытых полостей под энергетическими аппаратами. Цели и задачи исследования / А.С. Малинкин // Актуальные проблемы современного строительства: II Международный конгресс. – СПб: СПбГАСУ, 2013. – С.256-257
64. Малинкин А.С. Тенденции развития технологии заполнения полостей под крупногабаритным промышленным оборудованием/ А.С.Малинкин , С.Н. Панарин // Доклады. 70-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. – СПб: СПбГАСУ, 2014. – Ч1. С.109-113
65. Малинкин А.С. Технология бетонирования полостей под днищами промышленных аппаратов методом нагнетания/ А.С. Малинкин, С.Н. Панарин // Вестник гражданских инженеров. – СПбГАСУ. – 2015. – №1(№48) — С. 107-114

66. Методические рекомендации по производству бетонных работ способом пневмобетонирования. М., 1983, 28 с. (Госстрой СССР. Центр. науч.-исслед. и проектно-эксперим. ин-т организации, механизации и техн. помощи стр-ву. ЦНИИОМТП. Бюро внедрения).
67. Михайлов Н.В. и пр. Реология тиксотропных систем. -Киев: Наукова думка, 1972. - 120с.
68. Могилевский Я.Г. и др. Машины и оборудование для бетонных и железобетонных работ. Справочное пособие по строительным машинам. Под о. р. Полосина М.Д. и Полякова В.И. - М.: Стройиздат, 1993. – 66с.
69. Модификаторы в строительной технологии: Учеб.пособие/ Е.В. Ткач; Карагандинский государственный университет. - Караганда: КарГТУ, 2006.- 156 с.
70. Несветаев Г.В. Бетоны. Учебно-справочное пособие – Ростов н/Д.: Феникс,2011—С.251-280.
71. Об индексах изменения стоимости строительно-монтажных работ и прочих работ и затрат в строительстве государственный строительный комитет СССР письмо от 6 сентября 1990 г. N 14-Д
72. Общероссийский строительный каталог СК-1. Нормативные, методические документы и другие издания по строительству. Перечень 2014. –М.;,2014. – 365с.
73. Овчинников П. Ф. и др. Реология тиксотропных систем. Киев, Наукова Думка, 1972. - 119с.
74. Осипов С. В. Проектирование и технологии возведения бетонных гидросооружений. Методические указания. — Куйбышев: КуИСИ им. А. И. Микояна, 1982. – 128с.
75. Панарин С.Н. Разработка технологии возведения новых корпусов высокого давления из тяжелого армоцемента// Совершенствование методов расчета и исследование новых типов железобетонных конструкций. – СПб: СПбГАСУ, 2005. – С.30-37

76. Панарин С.Н. Способ бесподкладочного монтажа оборудования/, А.С. Малинкин // Образование и наука: современное состояние и перспективы развития: Сб. научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 28 февраля 2013 г. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – В 10 ч. Ч. 7. – С. 103–105.
77. Панарин С.Н., Стариков О.П., Зорин Ю.М., Филоненко Е.С. Разработка технологии и оборудования для возведения корпусов высокого давления из тяжелого армоцемента // Материалы XII Ленинградской конференции по бетону и железобетону. - Л.: Стройиздат Л.О., 1988. – С.12-22
78. Панчурин Н.А., Конспект лекций по теории подобия и гидравлического моделирования Л.:ЛИВТ, 1966. - 96с.
79. Паныш К.Ф. Исследование физико-механических свойств пластичных бетонных смесей и их напряженно-деформированного состояния при безвибрационном формовании железобетонных изделий.//автореф. дисс. к.т.н. Минск, 1971. – 22с.
80. Паспорт SikaRetarder Добавка к бетонной смеси (VZ), 2012. – 5с.
81. Паспорт SikaTard®-930HydrationControllingandConcreteStabilization (Sleeping)Admixture, 2013. – 4с.
82. Пат. № 2466251 от 10.11.2012. Способ подливки бетонной смеси под технологическое оборудование на заключительном этапе его монтажа / В. В. Верстов, Д. Д. Тишкин, В. Н. Романовский. - Бюл. № 31. - 2012.
83. Полтавцев С.И. Монолитное домостроение. М.: Стройиздат, 1993. - 321с.
84. Пособие по проектированию анкерных болтов для крепления строительных конструкций и оборудования (к СНиП 2.09.03) ЦНИИпромзданий, 2003. – 38с.
85. Развитие рынка монолитного бетонирования в России. [Электронный ресурс]. URL: avtobeton.ru/monolitnoe_betonirovanie.html.
86. Рекомендации по проектированию и строительству щелевых фундаментов. М.: НИИОСП, 1982. - 51с.

87. Романовский В.Н. Вибрационная технология устройства подливки бетонной смеси под промышленное оборудование на заключительном этапе его монтажа // Дисс. к.т.н. – СПб: СПбГАСУ, 2005.-133с.
88. Руководство по укладке бетонных смесей бетононасосными установками. М., Стройиздат (Центр науч-исслед. и проектно-эксперим. ин-т организации, механизации и техн. помощи стр-ву. Народное предприятие строит-монтажный комбинат «ОСТ» ГДР), 1978 - 144 с.
89. Сарычев В.С. Эффективность применения монолитного железобетона и бетона в промышленном строительстве. - М :Стройиздат, 1973. - 183с.
90. Сергеев В.П. Строительные машины и оборудование. – М.: Высш. шк., 1987. – 376с.
91. СНиП 12-01-2004 Организация строительного производства. - М.: Росстрой, 2004.
92. СНиП 2.03.04-84 Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. - М.: Госстрой СССР, 1988.
93. СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции. - М.: Госстрой СССР, 1989.
94. СНиП 3.05.05-84. Технологическое оборудование и технологические трубопроводы. - М.: Госстрой СССР, 1985.
95. СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. - М.: Росстрой, 2004.
96. СП 27.13330.2011 Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. Актуализированная редакции СНиП 2.03.04-84. - М.: Росстрой, 2011.
97. Технические характеристики автобетононасосов CIFA. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.cifa-beton.ru/cifa/stazbet/>
98. Технические характеристики автобетононасосов КСР. [Электронный ресурс]. URL:<http://kcp-pump.ru/pages/?m=about-kcp>

99. Технические характеристики автобетононасосов Putzmeister. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.putzmeister.ru/>
100. Технические характеристики вибратора ИВ-35. [Электронный ресурс]. URL:http://www.vseinstrumenti.ru/stroitelnoe_oborudovanie/vibrotehnika/vibrator_y_glubinnye/krasnyi_mayak/glubinnyi_navesnoy_vibrator_krasnyi_mayak_iv_35_1_045_0300/
101. Технические характеристики вибратора ИВ-99б. [Электронный ресурс]. URL:http://www.avtoprom.net/katalog/vibratory/vibrator_plowadochnyj/iv-99b/
102. Технические характеристики замедлителей схватывания BASF. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.catalysts.basf.com/p02/USWeb-Internet/catalysts/en/>
103. Тишкин Д.Д. Механизированная технология штукатурных работ при отделке помещений растворами на основе сухих смесей //автореф. дисс. к.т.н. – СПб: СПбГАСУ, 2011.-23с.
104. Фаликман В.Р. Бетоны высоких технологий// Промышленное и гражданское строительство. - 2002. - №9- С. 20-22
105. Фаликман В.Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны // Бетон и железобетон №11, С. 78-84.
106. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. - Л.:Наука, 1975. -592 с.
107. Хайкович Д.М. Технология нанесения растворных смесей при производстве штукатурных работ механизированным способом// дисс. к.т.н. – СПб: СПбГАСУ, 2005.-204с.
108. Хаютин Ю.Г., Монолитный бетон. Технология производства работ. - М.: Стройиздат, 1991. -576 с.
109. Черкасский В.М. Насосы вентиляторы компрессоры. - М.: Энергия, 1977. - 424 с.
110. Чураков А. И., Волнин Б. А., Степанов П. Д., Шайтанов В. Я. «Производство гидротехнических работ». — М.: Стройиздат, 1985. 427с.

111. Якунин Ю.И., Козлова В.С., "Каталог-справочник "Бетон и Железобетон", апрель 2008 г.
112. ASTM 2011 Volume 04.02 Concrete and Aggregates
113. Bozzoni M. Self Compacting Concrete for High Performance Structure. Proceedings of 2 FIB Congress, 2006.– p. 429
114. Chazi F. and others. New Method for Proportioning Self Consolidating Concrete Based on Compressive Strength Requirements. ACI Material Journal vol.107, № 5.– P. 43-47
115. Engineering the World Tallest — Burj-Dubai. Council on Tall Building and Urban Habitat. 2010. – p. 327
116. Okamura H., Ouchi M. Self-compacting Concrete Development, Present Use and Future.–Proc. Of the 14th Inter/ RILEM Symp. Of SCC, 13-14 Sept. 1999, Sweden.–1999.P.3-14
117. P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro, Concrete. Microstructure, Properties, and Materials. Third Edition – London: McGraw-Hill, 2006. – p. 659
118. Pumped concrete pump types & selection [Электронный ресурс]. URL:<http://theconstructor.org/concrete/pumped-concrete-pump-types-selection/6081/>
119. Ramachandran V.S. Recent developments in concrete admixture formulations. //Cemento.- 1993.- Vol. 90.- №1.- P.11-24.
120. Sakue J., Okamoto K. Reappearance of Change Flowability of Self-Compacting Concrete due to Pumping. Proceedings of the 2 FIB Congress, 2006.– P.3-12.

ПРИЛОЖЕНИЯ

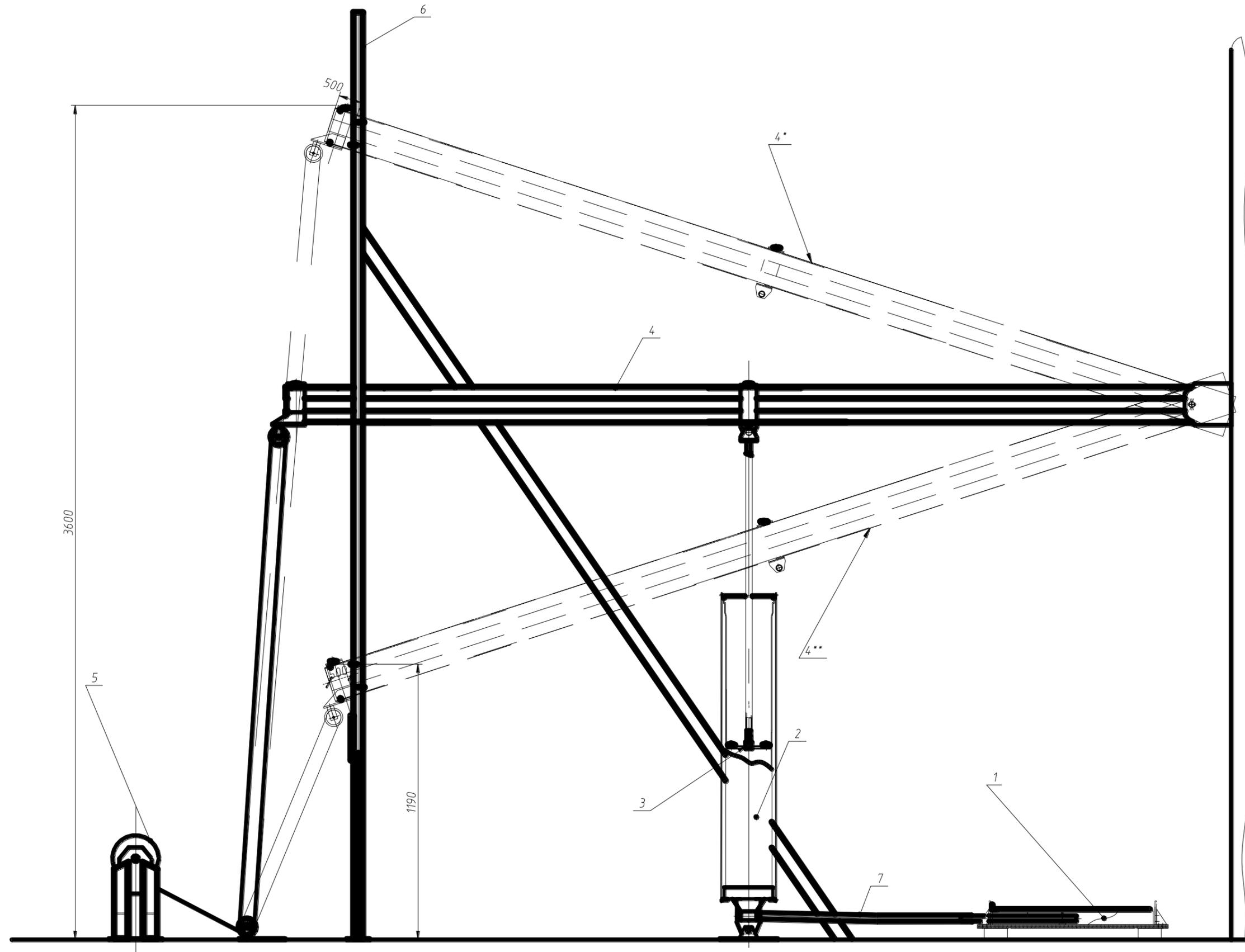


Рис.А.1 Схема экспериментальной установки для проведения модельных экспериментов для подачи бетонной смеси: 1-макет; 2-цилиндр с бетонной смесью; 3-поршень; 4 – рычаг; 4*-верхнее положение рычага; 4**-нижнее положение рычага; 5-лебедка; 6-стойка; 7-бетоновод.

О А О « К О Н Ц Е Р Н П В О « А Л М А З - А Н Т Е Й »



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
**«КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
 СПЕЦИАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ»**
 (ОАО «КБСМ»)

Лесной проспект, д.64, Санкт-Петербург, 194100

Тел.: (812) 295-51-13; Факс: (812) 295-36-18, E-mail: kbsm@mail.admiral.ru
 ОКПО 07560280, ОГРН 1037804017140, ИНН/КПП 7802205799/780201001

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
 ООО «ТЕХНОАРМ+»

Панарин С.Н. Панарин
 «12» ноября 2014 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального
 конструктора и начальник комплекса
 №1 - главный конструктор

В.Д. Гуськов
 «12» ноября 2014 г.

АКТ о внедрении научно-технической разработки № 1/14 от 12 ноября 2014 г.

Настоящий акт составлен в том, что согласно договору между ООО «ТЕХНОАРМ+» и ОАО «КБСМ» № 3/2013 от 23.10.2013 года разработанная ООО «ТЕХНОАРМ+» технология бетонирования полостей под промышленными аппаратами методом нагнетания, ответственный исполнитель Малинкин А.С., была применена при выполнении работ по возведению натуральных макетов на ЗАО «Метробетон»:

- СМ-Э355, бетонирование полости под плитой днища (3,5x3,5x0,3м) тяжелой самоуплотняющейся смесью 28.12.2012г;
- ТА-ЭУ4 бетонирование секторной полости под плитой днища (3,0x3,5x0,35м) тяжелой самоуплотняющейся смесью 15.09.2014г.

Бетонирование по разработанной технологии производилось под авторским надзором разработчиков с применением следующего промышленного оборудования:

- пневмобетонагнетатель СО-241. Рабочее давление в камере 4-4,5Атм. Подача бетона производилась по бетоноводу диаметром 80мм и длиной 10м;
- роторный бетононасос Vector с производительностью 5- 25 м³/час. Подача бетона производилась по бетоноводу диаметром 100мм и длиной 4м;

Бетонные смеси изготавливались на БСУ ЗАО «Метробетон». Состав смеси и др. характеристики приведены в Приложении.

В результате выполненных работ была подтверждена возможность и целесообразность применения разработанной технологии бетонирования полостей с технологическими включениями методом нагнетания.

Приложение:

1 Отчет по производству бетонной смеси для бетонирования макета днища СМ-Э355 от 28.12.2012, на 3-х листах А4.

2 Отчет по производству бетонной смеси для бетонирования натурального фрагмента центрального днища ТА-ЭУ4 от 15.09.2014, на 3-х листах А4.

Заместитель начальника КК № 1 –
 главного конструктора

Г.В. Коротков
 «12» ноября 2014г.



ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МЕТРОБЕТОН»

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

197349, Санкт-Петербург, Ново-Никитинская, 17, т. 320-42-19, факс 301-17-38

Аттестат аккредитации №SP 01.01.106.049 от 05.05.2010г.



Утверждаю
Начальник Испытательной
лаборатории
ЗАО «Метробетон»

М.Р. Мартынова
М.Р. Мартынова

«29» января 2012г

**ОТЧЕТ ПО ПРОИЗВОДСТВУ
БЕТОННОЙ СМЕСИ**

для бетонирования макета днища СМ-Э355
состав бетона №1 (разработка ЗАО «НТЦ «ПН»)
от 28.12.12

1. Бетон бетон тяжелый мелкозернистый по ГОСТ 26633-91
- Требуемый класс бетона по прочности на сжатие В35
- Требуемая удобоукладываемость бетонной смеси Р6 (распływ конуса более 62см)
- Способ уплотнения бетонной смеси без вибрации Проектный возраст бетона 28 суток
2. Адрес производства БСУ ЗАО «Метробетон», ул. Ново-Никитинская, 17
3. Тип смесителя двухвальный смеситель принудительного действия, V замеса 2000л (2м³).
4. Материалы для бетонной смеси:
- а) Вяжущее Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108-2003, ГОСТ 30515-97)
Завод ЗАО «Липецкцемент» Активность 47,2 МПа
- б) Заполнитель Песок габбродиабазовый (ГОСТ 8736-93), фр. 0-5мм
- в) Добавки для бетонной смеси:
- Сланцевая зола Zolest Vet марки PSI с добавкой СНВ – ТНВЭД 262100000
- Микрокремнезем активный аморфный МКУ-85, ТУ 5745-012-18891264-2009
- Микрофибра базальтовая, ТУ 5761-014-13800624-2004
- Пластификатор PentoFlow, Каталог ЗАО «Еврохим»
- Модификатор углеродсодержащий нанодисперсный ТУ 2166-04-13800624-2004

5. Результаты испытаний заполнителя

Контролируемый параметр	Метод испытаний	Результаты испытаний	Требования ГОСТ26633-91	Соответствие требованиям ГОСТ26633-91
1. Насыпная плотность в сухом сост. т/м ³	п. 9.1 ГОСТ 8735-88	1,77	-	-
2. Содержание ПиГ, %	п.5.3 ГОСТ 8735-88	1,2	не более 2%	соответствует
3. Содержание глины в комках, %	п. 4 ГОСТ 8735-88	отсутствие	отсутствие	соответствует
4. Наличие органических примесей	п. 6 ГОСТ 8735-88	Св. эталона	отсутствие	соответствует

5. Зерновой состав (по п. 3 ГОСТ 8735-88)

Наименование остатка	Остатки, % по массе на ситах							Прошло ч/з сито №0,16, % по массе
	10мм	5мм	2,5мм	1,25мм	0,63мм	0,315мм	0,16мм	
Частный	0,57	12,78	29,51	16,39	16,07	12,13	9,84	16,07
Полный	-	-	29,51	45,9	61,97	74,1	83,94	100,01

Мкр=2,95

6. Состав бетонной смеси в кг (сухие материалы)

Наименование компонента	номинальный состав №1	фактический состав
	Количество, кг на 1м.куб.	
Цемент	490	490
Песок габбродиабазовый	1390	1390
Zolest Bet "PSI"	165	165
МКУ-85	80	80
Микрофибра	10	10
PentoFlow PC2	5	5
Модификатор углеродсодержащий нанодисперсный	0,01	0,01
Вода	160	213
Сумма	2300,01	2353,01
В/Ц	0,33	0,43

7. Результаты испытаний бетонной смеси:

Удобоукладываемость б.смеси п.4.1 ГОСТ10181-2000	Средняя плотность б.смеси, кг/м ³ ; п.5 ГОСТ 10181-2000
ОК=25см (расплав конуса 58x58см)	2430

8. Данные о вызревании образцов _____ в нормальных условиях по п.2.3 ГОСТ 10180-90

9. Результаты испытаний бетона в возрасте 28 суток:

Метод испытаний	Маркировка образцов	Размеры образца, см			Масса образца, гр	Плотность образца г/см.куб	Разрушающая нагрузка, Н	Прочность бетона с учетом масштабного коэффициента 0,95, кг/см ²	Соответствует классу бетона по прочности на сжатие (при коэф-те вариации V _p =13,5%)	
		L	B	H						
Осевое сжатие по п.5 ГОСТ10180	28.12.12 В35Р6 серия №1	10,0	10,0	10,0	2510	2,51	990000	941	В70	
		10,0	10,0	10,0	2480	2,48	960000	912		
		10,0	10,0	10,0	2450	2,45	925000	879		
				У _{ср} =2,48			R _{ср} = 926			
	28.12.12 В35Р6 серия №2	10,0	10,0	10,0	2490	2,49	945000	898		В65
		10,0	10,0	10,0	2440	2,44	930000	884		
10,0		10,0	10,0	2420	2,42	875000	831			
			У _{ср} =2,45			R _{ср} = 891				

10. Перечень средств измерений и испытательного оборудования

№ п/п	Наименование СИ и ИО	Заводской номер	Дата поверки, аттестации
1	Пресс гидравлический П250	№2028	№0155000 от 09.11.2012г.
2	Весы лабораторные EW 6000-1M	№017580048	№0047419 от 15.06.2012г.
3	Штангенциркуль ШЦ	№P86055	№0111421 от 07.08.2012г.

Инженер ИЛ ЗАО «Метробетон»



Л.А. Долгополова



ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МЕТРОБЕТОН»
ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

197349, Санкт-Петербург, Ново-Никитинская, 17, т. 320-42-19, факс 301-17-38

Свидетельство об аттестации №SP 01.01.106.049



Утверждаю
 Начальник Испытательной
 лаборатории
 ЗАО «Метробетон»

М.Р. Мартынова
 М.Р. Мартынова
 « 10 » 10 2014г

ОТЧЕТ ПО ПРОИЗВОДСТВУ
БЕТОННОЙ СМЕСИ

для бетонирования натурального фрагмента центрального днища ТА-ЭУ4
 состав бетона №1 (разработка 26 ЦНИИ)
 от 15.09.14

1. Бетон бетон тяжелый мелкозернистый по ГОСТ 26633-2012
- Требуемый класс бетона по прочности на сжатие В35
- Требуемая удобоукладываемость бетонной смеси Р6 (расплыв конуса более 62см)
- Способ уплотнения бетонной смеси без вибрации Проектный возраст бетона 28 суток
2. Адрес производства БСУ ЗАО «Метробетон», ул. Ново-Никитинская, 17
3. Тип смесителя двухвальный смеситель принудительного действия, V замеса 2000л (2м³).
4. Материалы для бетонной смеси:
- а) Вяжущее Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108-2003, ГОСТ 30515-97)
 Завод ЗАО «Липецкцемент» Активность 45,8 МПа
- б) Заполнитель Отсев дробления габбродиабаза, фр. 0-5мм
- в) Крупный заполнитель Щебень из габбродиабаза (ГОСТ 8267-93), фр. 5-10мм
- г) Добавки для бетонной смеси:
- Сланцевая зола «ZOLEST-bet», ТУ 5745-001-8736999-2013
- МКУ-85 - Микрокремнезем ТУ 5743-048-02495332-96
- С-3, суперпластификатор, ТУ 5745-004-43184789-05

3. Результаты испытаний мелкого заполнителя (отсев дробления габбродиабаз)

Контролируемый параметр	Метод испытаний	Результаты испытаний	Требования ГОСТ26633-91, проекта	Соответствие требованиям ГОСТ26633-91
1. Насыпная плотность в сухом сост. т/м ³	п. 9.1 ГОСТ 8735-88	1,55	-	-
2. Содержание ПиГ, %	п.5.3 ГОСТ 8735-88	0,6	не более 2%	соответствует
3. Содержание глины в комках, %	п. 4 ГОСТ 8735-88	отсутствие	отсутствие	соответствует
4. Наличие органических примесей	п. 6 ГОСТ 8735-88	Св. эталона	отсутствие	соответствует

5. Зерновой состав (по п. 3 ГОСТ 8735-88)

Наименование остатка	Остатки, % по массе на ситах							Прошло ч/з сито №0,16, % по массе
	10мм	5мм	2,5мм	1,25мм	0,63мм	0,315мм	0,16мм	
Частный	0	5,38	29,04	12,87	14,37	10,48	10,18	23,05
Полный	-	-	29,04	41,91	56,28	66,76	76,94	99,99

Мкр=2,42

5. Результаты испытаний крупного заполнителя (щебень из габбродиабаз фр. 5-10мм)

Контролируемый параметр	Метод испытаний	Результаты испытаний	Требования ГОСТ26633-91	Соответствие требованиям ГОСТ26633-91
1. Насыпная плотность, т/м ³ : - в сухом состоянии	п. 4.17 ГОСТ 8269.0-97	1,49	-	-
2. Содержание ПиГ, %	п.4.5 ГОСТ 8269.0-97	0,6	не более 1%	соответствует
3. Содержание глины в комках, %	п. 4.6 ГОСТ 8269.0-97	отсутствие	отсутствие	соответствует
4. Содержание зерен пластинчатой и лещадной формы, %	п.4.7.1ГОСТ8269.0-97	22,7	Не более 25%	соответствует

6. Зерновой состав (по п. 4.3 ГОСТ 8269.0-97)

Наименование остатка	Остатки на ситах, % по массе						Прошло ч/з сито №1,25, % по массе
	12,5мм	10мм	7,5мм	5мм	2,5мм	1,25мм	
Частный	0,16	18,97	31,51	33,44	10,77	0,96	4,18
Полный	0,16	19,13	50,64	84,08	94,85	95,81	99,99

6. Состав бетонной смеси в кг (сухие материалы)

Наименование компонента	номинальный состав №1	фактический состав
	Количество, кг на 1м.куб.	
Цемент ЦЕМ I-42,5Н (М500)	400	403
Сланцевая зола "ZOLEST-bet"	120	120
Отсев дробления габбродиабаз	700	694
Щебень габбродиабаз, фр.5-10	1050	1046
МБ 10-01:	МКУ-85 (100%)	31,5
	С-3 (100%)	4
Вода	228	228
Сумма	2533	2527
В/Ц	0,57	0,57

7. Результаты испытаний бетонной смеси:

Удобоукладываемость б.смеси п.4.1 ГОСТ10181-2000	Средняя плотность б.смеси, кг/м ³ ; п.5 ГОСТ 10181-2000
Расплав конуса 63х62	2515

8. Данные о вызревании образцов _____ в нормальных условиях по п.2.3 ГОСТ 10180-90

9. Результаты испытаний бетона в возрасте 28 суток:

Метод испытаний	Маркировка образцов	Размеры образца, см			Масса образца, гр	Плотность образца г/см.куб	Разрушающая нагрузка, Н	Прочность бетона с учетом масштабного коэффициента 0,95, кг/см ²	Соответствует классу бетона по прочности на сжатие (при коэф-те вариации Vп=6%)
		L	B	H					
Осевое сжатие по п.7.2 ГОСТ10180-2012	15.09.14 Б1.2.9.К Б1.2.13К Б1.2.15.К	10,0	10,0	10,0	2503	2,50	495000	470	B45
		10,0	10,0	10,0	2491	2,49	525000	499	
		10,0	10,0	10,0	2495	2,50	520000	494	
							Уср=2,5	Rср= 496	

10. Перечень средств измерений и испытательного оборудования

№ п/п	Наименование СИ и ИО	Заводской номер	Дата поверки, аттестации
1	Пресс гидравлический МС-500	№1196	№546 от 26.11.2013г.
2	Весы лабораторные EW-6000iM	№017580048	№0003845 от 06.02.2014г
3	Штангенциркуль ШЦ	№P86055	№0133797 от 16.08.2013г.

Зам. начальника ИЛ ЗАО «Метробетон»



Е.Г. Логинова

О А О « К О Н Ц Е Р Н П В О « А Л М А З - А Н Т Е Й »



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СПЕЦИАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ»
(ОАО «КБСМ»)

Лесной проспект, д.64, Санкт-Петербург, 194100
Тел.: (812) 295-51-13; Факс: (812) 295-36-18, E-mail: kbsm@mail.admiral.ru
ОКПО 07560280, ОГРН 1037804017140, ИНН/КПП 7802205799/780201001

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ООО «ТЕХНОАРМ+»

С.Н. Панарин
С.Н. Панарин

«12» ноября 2014 г.
«12» ноября 2014 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального
конструктора и начальник комплекса
№1 - главный конструктор

В.Д. Гуськов
В.Д. Гуськов

«12» ноября 2014 г.
«12» ноября 2014 г.

АКТ о внедрении научно-технической разработки № 2/14 от 12 ноября 2014 г.

Настоящий акт составлен в том, что разработанная по договору № 4/2013 г. от 02.12. 2013 г. между ООО «ТЕХНОАРМ+» и ОАО «КБСМ» ООО «ТЕХНОАРМ+» на основании проведенных модельных экспериментов технология по бетонированию полостей под промышленными аппаратами методом нагнетания, ответственный исполнитель Малинкин А.С., была включена в ПОС по возведению корпуса БР, разработанный ОА Атомпроект.

Включенные в ПОС рекомендации содержат описание технологических приемов, параметры технологии нагнетания бетонной смеси в полости под оборудование конструкции БР и применяемые средства механизации.

Приложение: выдержки из раздела ПОС «Спецтехнология» на 15-ти листах формата А4.

Заместитель начальника КК № 1 –
главного конструктора

Г.В. Коротков
Г.В. Коротков

«12» ноября 2014 г.
«12» ноября 2014 г.

СПЕЦТЕХНОЛОГИЯ. БЕТОНИРОВАНИЕ ПОЛОСТЕЙ(выдержка)

2. Процесс бетонирования полости под центральным корпусом

Полость под корпусом имеет толщину 0,35м и диаметр 6,0м.

Процесс бетонирования делится на 2 этапа:

1 Подготовка к бетонированию.

2. Процесс укладки бетонной смеси.

1. Подготовка к бетонированию

- Устройство системы сушки бетонируемой полости осуществляется вслед за монтажом труб и вводного коллектора системы разогрева.
- Прокладка каналов системы сушки и фиксация их к трубам нагрева и арматурным сеткам.
- Установка элементов систем мониторинга (датчиков давления, влажности, температуры)
- Вывод системы каналов в сборный коллектор
- Устройство опалубки. В качестве кольцевой опалубки используется металлоконструкция высотой 0,6м с отверстиями и заглушками под трубы бетоноводов.

Отверстия будут располагаться друг напротив друга по двум взаимно перпендикулярным направлениям, в количестве 4-х штук. Предполагаемый диаметр отверстий 140мм под трубу бетоновода Ø 125мм. В местах ввода бетоноводов устраиваются отверстия с уплотнением. Опалубка устанавливается по внутренней стороне вводного коллектора в трубы системы разогрева. Это расстояние принимается равным 500мм от наружной обечайки центрального корпуса.

Ввод труб системы бетонирования в отверстия. Бетоноводы вводятся, не доходя до центра лайнера около 0,5м. Расстояние будет уточно на основании экспериментальных данных полученных в результате проведение окончательных экспериментов на ТА-ЭУ3 и апробации данного расположения бетоновода при бетонировании натурального Фрагмента ТА-ЭУ4.

Бетонирование полости

В основу концепции бетонирования полости положена монолитная технология производства бетонных работ с применением современных средств механизации производства работ и использовании высокоподвижных бетонных смесей, автобетоносмесительной и бетононасосной техники. В качестве бетонной смеси будет применяться состав бетона №1, который обладает самоуплотняющимся свойством, что позволяет обойтись без дополнительного побуждения и уплотнения бетонной смеси.

Объем бетонирования:

$$\text{Объем полости } V_{\text{п}} = S \times h = \Pi r^2 \times h = 32 \times 3.14 \times 0.35 = 9,86 \text{ м}^3,$$

где S-площадь центрального корпуса, h-высота полости, r-радиус корпуса.

$$\text{Объем системы труб разогрева } V_{\text{с.т}} = n \times l_{\text{ср.}} \times S_{\text{т}} = 26 \times 4,5 \times 0,0045 = 0,53 \text{ м}^3,$$

где n-количество труб, $l_{\text{ср.}}$ - средняя длина трубы, $S_{\text{т}}$ -площадь поперечного сечения трубы.

$$\text{Объем кольцевого зазора } V_{\text{o}} = (S_{\text{o}} - S_{\text{п}}) \times h_{\text{o}} = (3,52 - 32) \times 3,14 \times 0,6 = 6,12 \text{ м}^3$$

$$\text{Объем бетонирования } V_{\text{п}} = V_{\text{п}} - V_{\text{с.т}} + V_{\text{o}} = 9,86 - 0,53 + 6,12 = 16,51 \text{ м}^3$$

Бетонирование должно производиться непрерывно. Для доставки бетонной смеси применяется автобетоносмеситель. Подача смеси осуществляется двумя бетононасосами Putzmeister P 715, которые расположены на опорной плите БР РУ. Транспортирующим органом является бетоновод, собранный из отдельных

секций. Бетононасосы оснащены разветвителями. Таким образом, смесь подается по четырем бетоноводам с суммарной производительностью $34\text{м}^3/\text{час}$.

Подача бетонной смеси начинается одновременно в 4 бетоновода в центр полости. Все 4 бетоновода идут параллельно системе трубопроводов, благодаря радиальному расположению труб система нагрева и фильтрующих трубок системы сушки, соответственно сопротивление распространению бетонной смеси будут идентичными во всех 4-х направлениях, что обеспечивает равномерное «растекание» бетонной смеси во всех направлениях.

Заполнение полости бетонной смеси происходит от центра к периферии, при этом бетоноводы находятся в первоначальном положении. Вывод бетоновода из отверстий опалубки и прекращение подачи смеси происходит только после того как бетонная смесь заполнит весь объем полости и начнется её подъем по всему периметру опалубки на высоту 50-60см (Рис. 3). Бетоноводы изымаются совместно с подачей смеси, что позволит избежать образования воздушных полостей в местах «предыдущего» расположения бетоноводов. При этом уменьшается усилие, применяемое для изъятия бетоноводов вследствие возникновения реактивной силы. Гидростатический столб бетонной смеси, находящейся по контуру корпуса обеспечивает дополнительный подпор. Расчетная скорость изъятия бетоновода около $0,2\text{м/с}$, что позволяет мгновенно заполнять образующие пустоты при производительности одного бетоновода $2,35\text{л/с}$.

После изъятия бетоновода отверстие опалубки заглушается. Распалубливание производится на следующие сутки.

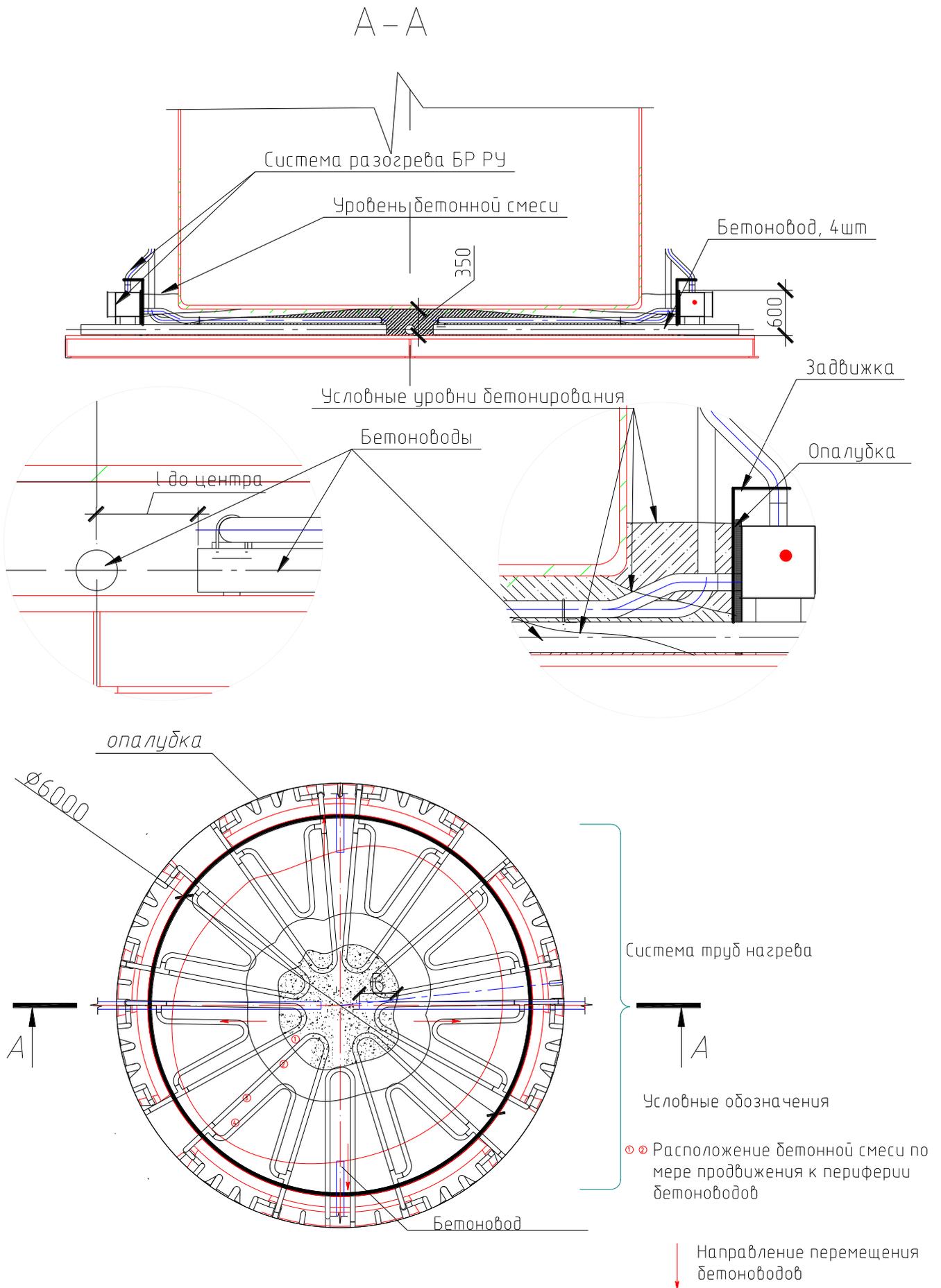


Рис. 3 Схема бетонирования полости под центральным корпусом БР.

3. Процесс бетонирования полости под периферийными корпусами

Процесс бетонирования аналогичен процессу бетонирования под центральным корпусом, но при этом имеет ряд особенностей (Рис. 4):

- Бетонирование производится при помощи одного бетононасоса двумя бетоноводами;
- Опалубка в сечении имеет г-образную форму, в связи с высотным расположением полости;
- Кольцевой зазор равен 0,3м по контуру;
- Наличие строительных подмостей.

Объем бетонирования:

$$\text{Объем 1-ой полости } V_{\text{п}} = S \times h = \pi r^2 \times h = 1,252 \times 3,14 \times 0,35 = 1,47 \text{ м}^3,$$

где S-площадь опоры корпуса, h-высота полости, r-радиус опоры.

$$\text{Объем системы труб разогрева } V_{\text{с.т}} = n \times l_{\text{ср.}} \times S_{\text{т}} = 9 \times 2 \times 0,0045 = 0,1 \text{ м}^3,$$

где n-количество труб, $l_{\text{ср.}}$ - средняя длина трубы, $S_{\text{т}}$ -площадь поперечного сечения трубы.

$$\text{Объем кольцевого зазора } V_{\text{о}} = (S_{\text{о}} - S_{\text{п}}) \times h_{\text{о}} = (1,752 - 1,252) \times 3,14 \times 0,3 = 1,42 \text{ м}^3$$

$$\text{Объем бетонирования } V_{\text{п}} = V_{\text{п}} - V_{\text{с.т}} + V_{\text{о}} = 1,47 - 0,1 + 1,42 = 2,8 \text{ м}^3$$

Общий объем бетонирования над 8-ью тумбами

$$\sum V_{\text{п}} = V_{\text{п}} \times n = 2,8 \times 8 = 22,4 \text{ м}^3$$

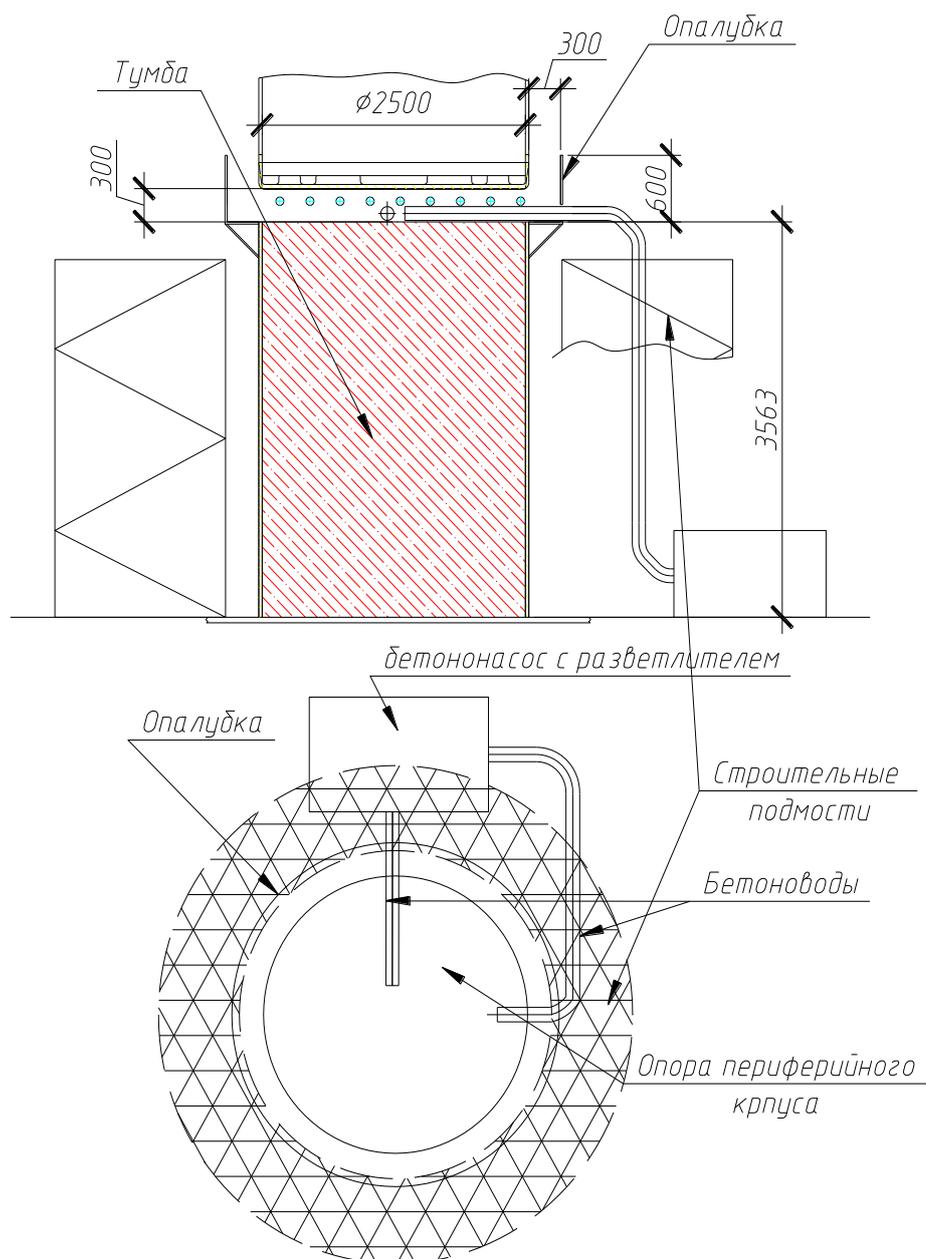


Рис.4 Схема бетонирование полости под периферийным корпусом БР

"Согласовано"
 Генеральный директор
 ОАО «ТЕХНОАРМ+»



С.Н. Панарин
 2014г

"Утверждаю"
 Директор

26 ЦНИИ - филиал
 ОАО "31 ГПИСС"



М. Колобаев

Раздел инструкции

по технологии бетонирования

корпуса БР

Ответственный исполнитель:
 Ведущий инженер
 ООО «ТЕХНОАРМ+»

 А.С. Малинкин

Руководитель:
 Главный научный сотрудник
 26 ЦНИИ - филиал ОАО "31 ГПИСС"

 Н.В. Свиридов

г. Балашиха

Содержание

	Стр.
1. Назначение бетонов.....	3
2. Требования к бетонам.....	4
3. Технология бетонирования корпуса БР.....	6
3.1 Организация работ.....	6
3.2 Технологическая часть.....	8
3.3 Контроль качества бетонирования.....	9
3.4 Санитарно-бытовое обслуживание.....	10
3.5 Техника безопасности.....	10
3.6 Технология бетонной смеси.....	10
4. Распределение бетонной смеси.....	14
5. Уплотнение бетонной смеси.....	16
6. Уход за бетоном.....	19
Приложение: Технологический регламент по бетонированию полостей под промышленными аппаратами методом нагнетания	20

"СОГЛАСОВАНО"

Генеральный директор
ООО "ТЕХНОАРМ+"

Панарин С.Н. Панарин
"11" июня 2014г.


"УТВЕРЖДАЮ"

Директор
26 ЦНИИ - филиал
ОАО "31 ГПИСС"

М. Колобаев М. Колобаев
"11" июня 2014г.


ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ПО БЕТОНИРОВАНИЮ ПОЛОСТЕЙ ПОД ПРОМЫШЛЕННЫМИ АППАРАТАМИ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ

Ответственный исполнитель:
Ведущий инженер
ООО «ТЕХНОАРМ+»
Малинкин А.С Малинкин
"11" июня 2014г.

Главный научный сотрудник
26 ЦНИИ - филиал ОАО "31 ГПИСС"
Свиридов Н.В. Свиридов
"11" июня 2014г.

г. Балашиха

2014г.

Содержание

	Стр.
1. Общие положения	3
2. Область применения	3
3. Основные требования перед началом работ	4
4. Организация и технология строительного процесса.	6
5. Квалификационный состав бригады	14
6. Правила техники безопасности	15
7. Нормативные ссылки	16

1. Общие положения.

1.1 Настоящий регламент определяет единый порядок выполнения бетонирования полости под промышленным аппаратом в процессе его монтажа.

1.2 Регламент обязателен для исполнения всеми структурными подразделениями предприятия, связанными с процессом монтажа технологического оборудования.

1.3 Требования технологического регламента распространяются на производство бетонирования полостей методом нагнетания.

1.4 Технологический регламент разработан из расчёта 1 м³ заполняемой полости.

1.5 Работы по бетонированию полости под оборудованием производятся не позднее 48-и часов с момента подписания акта подтверждающего правильность установки смонтированного оборудования.

2. Область применения

2.1 Бетонирование полости под промышленным оборудованием методом нагнетания применимо к любым типам соединений «оборудование-фундамент».

2.2 Применение указанного метода бетонирования полостей не имеет ограничений связанных с размерами и конфигурацией промышленного оборудования в плане.

2.3 Технология позволяет производить качественное заполнение всего объема полости вне зависимости от ее высоты, а также наличия технологических включений.

2.4 Эффективность применения регламента заключается в повышении производительности работ за счёт сокращения времени необходимого для полного заполнения технологической полости между оборудованием и фундаментом, а также сокращения численности рабочих занятых в процессе бетонирования полости под оборудованием.

3. Основные требования перед началом работ

До начала производства работ по бетонированию полостей методом нагнетания необходимо:

3.1 Смонтировать, выставить на проектную отметку и закрепить согласно проекту оборудование на фундаменте.

3.2 Подписать акт подтверждающий соответствие установки смонтированного оборудования проекту.

3.3 Поверхность фундамента и оборудования необходимо продуть сжатым воздухом.

3.4 На место производства работ доставить необходимые строительные материалы и инструменты.

3.5 Бетонную смесь для бетонирования полости необходимо изготавливать на промышленном бетонно-смесительном узле (требования по технологическим параметрам предъявляемым к бетонной смеси устанавливаются рабочей документацией) при обязательном контроле лабораторией имеющей аккредитацию в сфере строительного контроля качества.

3.6 Организация – изготовитель бетонных смесей должна иметь:

3.6.1 лицензию (разрешение на производство работ СРО);

3.6.2 собственную, аттестованную в испытательную (аналитическую) лабораторию;

3.6.3 утвержденный в установленном порядке Технологический регламент изготовления бетонных смесей, включающий в себя в обязательном порядке:

3.6.3.1 карты входного контроля качества материалов и сырья, операционного и приемочного контроля;

3.6.3.2 номенклатуру изготавливаемых бетонных смесей, отвечающую требованиям, проектной документации;

3.6.3.3 сертификаты, технические паспорта и другие документы, подтверждающие качество исходных материалов, сырья для приготовления бетонных смесей.

3.7 Бетонные смеси должны приготавливаться в соответствии с требованиями ГОСТ 7473-2010 «Смеси бетонные. Технические условия» по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке.

3.8 Состав бетонной смеси должен подбираться по ГОСТ 27006-86 «Бетоны. Правила подбора состава».

3.9 Бетонные смеси должны приготавливаться с использованием цемента, заполнителей и добавок по стандартам и техническим условиям на материалы конкретных видов в соответствии с ГОСТ 26633-2012 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия», ГОСТ 25820-2000 «Бетоны легкие. Технические условия», ГОСТ 30459-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов.

3.10 Вода для затворения бетонных смесей и приготовления добавок по ГОСТ 23732-79 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия».

3.11 Удельная эффективная активность естественных радионуклидов сырьевых материалов, применяемых для приготовления бетонных смесей, не должна превышать предельных значений в зависимости от области применения бетонных смесей согласно приложения А ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов».

3.12 Сыпучие исходные материалы для бетонной смеси должны дозироваться по массе (кроме пористых заполнителей, которые дозируют по объему с коррекцией по массе). Жидкие составляющие должны дозироваться по массе или объему.

3.13 Погрешность дозирования исходных материалов весовыми дозаторами циклического и непрерывного действия не должна превышать для цемента, воды, сухих химических добавок, рабочего раствора жидких химических добавок $\pm 1\%$, заполнителей $\pm 2\%$. Проверка дозаторов должна производиться ежедневно. Не реже одного раза в месяц их должны осматривать представители органов ведомственного надзора. Метрологическую проверку дозаторов с

участием поверителя местной лаборатории необходимо производить не реже одного раза в год.

3.14 Продолжительность перемешивания бетонной смеси должна устанавливаться лабораторией опытным путем с учетом рекомендаций ГОСТ 7473-2010. «Бетонные смеси. Технические условия».

3.15 Бетонные смеси должны быть приняты техническим контролем изготовителя. Объем партии устанавливается ГОСТ 18105-86 «Бетоны. Правила контроля прочности», но не более сменной выработки бетоносмесителя.

3.16 Каждая партия бетонной смеси, отправленная потребителю, должна иметь документ о качестве согласно приложению Г ГОСТ 7473-2010 и настоящих требований с обязательным указанием водонепроницаемости, определяемой по ГОСТ 12730.5-84 и морозостойкости по ГОСТ 10060.4-95 бетона.

3.17 Готовые бетонные смеси должны доставляться только в автобетоносмесителях с учетом максимально допустимой продолжительности транспортирования бетонной смеси, готовой к употреблению, установленной ГОСТ 7473-2010 приложение Е.

3.18 Состояние транспортных средств для исключения возможности вытекания цементного молока во время транспортировки подлежит регулярной проверке лаборантами.

4. Организация и технология строительного процесса

4.1 Метод бетонирования полости под промышленным оборудованием включает в себя следующие этапы работ:

4.1.1 Установка опалубки по контуру оборудованию с зазором. Верхний край опалубки должен быть выше не менее $\frac{1}{2}$ высоты полости над опорной частью станины оборудования, зазор в плане должен составлять не менее 5-ти диаметров крупного заполнителя;

4.1.2 Устройства отверстия под бетоноводы, установка резинового манжета;

4.1.3 Монтаж бетоновода;

4.1.4 Герметизация отверстий силиконовым составом;

- 4.1.5 Присоединение подающего шланга бетононасоса к бетоноводам.
- 4.2 Подачу бетонной смеси осуществлять непрерывно, предварительно отрегулировав требуемую скорость подачи бетонной смеси.
- 4.3 Подачу бетонной смеси производить до момента, пока смесь по всему периметру не достигнет уровня на 20мм ниже обреза опалубки.
- 4.4 Отсоединить шланги бетононасоса от бетоноводов.
- 4.5 Бетонирование возможно производить как с одной стороны, так и с нескольких, а бетоноводы как замоноличивать так и производить их изъятия из формовочной полости не прекращая при этом подачи смеси. В этом случае рассчитывается скорость изъятия бетоновода, которая зависит от скорости истечения бетонной смеси.
- 4.6 Извлечение бетоновода производить при помощи механической тросовой лебедки и обжимного хомута, к которому крепится трос от лебедки. Скорость перемещения троса лебедки должна быть на 15-20% меньше скорости истечения бетонной смеси.
- 4.7 Отверстие в опалубке перекрыть задвижкой в момент изъятия бетоновода из опалубки.
- 4.8 В случае замоноличивания бетоновода фланец крепления к шлангу бетононасоса должен находиться выше уровня подпорной стенки.
- 4.9 при необходимости часть бетоновода, выходящая за опалубку срезать при демонтаже опалубки.
- 4.10 Контроль заполнения полости (Рис.1):
- 4.10.1 В зазор между опалубкой и корпусом установить три элемента контроля: лазерный дальномер, видеокамера и зеркало, через которое производить видеосъемку и наблюдение за распространением смеси.
- 4.10.2 При достижении бетонной смесью днища аппарата, дальномер начинает «считывать» продвижения смеси, изменение показаний должно происходить постепенно, это гарантирует равномерное заполнение плоскости примыкания бетонной смеси с днищем. Зеркало позволяет наблюдать непосредственно за ходом распространения смеси во время бетонирования.

4.10.3 В случае фиксации нехарактерных изменений показаний дальномера бетонирование должно быть прекращено. Необходимо выявить характер нарушения технологии, выработать необходимые решения по их ликвидации, составить протокол и только после этого приступать к дальнейшему производству работ.

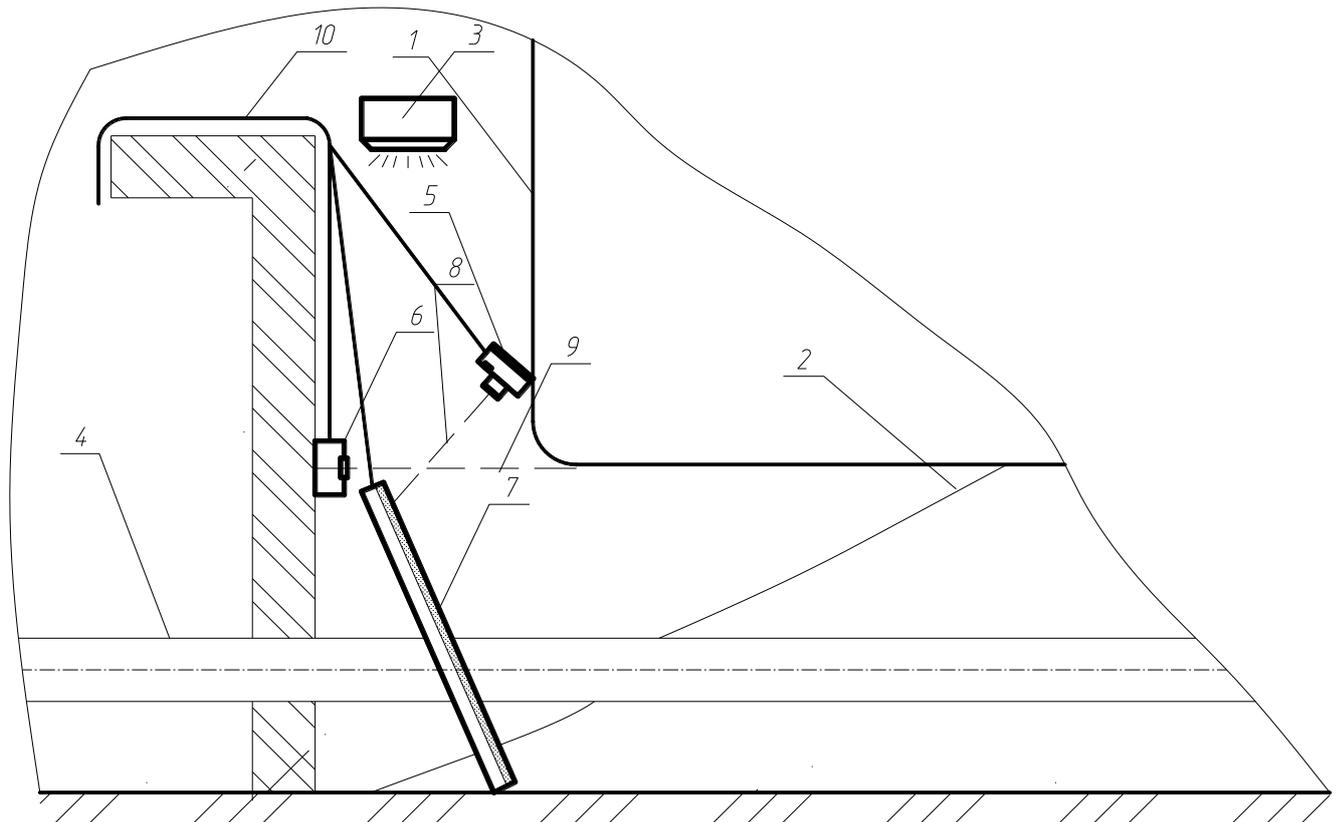


Рис. 1. Схема контроля заполнения полости: 1 – корпус оборудования; 2 – условное распространение смеси; 3 – фонарь; 4 – бетоновод; 5 – видеокамера; 6 – лазерный дальномер; 7 – зеркало; 8 – проекция съемки видеокамеры на зеркало; 9 – проекция дальномера (по плоскости днища); 10 – крепежный элемент.

4.10.3 Видеосъемка осуществлять для фиксации за заполнением и подтверждения качественного заполнения полости, необходимого для подписания акта о скрытых работах.

4.11 Окончательную затяжку гаек фундаментных болтов разрешается выполнять после достижения бетоном подливки не менее 50% проектной прочности.

4.12 До окончательной затяжки гаек фундаментных болтов производить работы, которые могут вызвать нарушения выверенного оборудования, запрещается.

4.13 Опалубку снимать по достижении бетоном распалубочной прочности. При необходимости произвести обрезку бетонопроводов заподлицо бетона.

4.14 Требования к выполнению опалубочных работ:

4.14.1 Опалубка должна применяться разборно-переставная, инвентарная. При невозможности применения инвентарной опалубки (сложность формы) применять металлический лист. На инвентарную опалубку необходимо иметь паспорт с инструкцией по монтажу и эксплуатации опалубки. Типы опалубок должны применяться в соответствии с ГОСТ Р 52085-2003 «Опалубка. Общие технические условия», либо ТУ разработанными на данный вид опалубки. 4.14.2 Установка опалубки должна производиться в строгом соответствии с ППР, СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции» и прилагаемой к опалубке инструкцией.

4.14.3 На опалубку должны быть вынесены оси оборудования и высотная отметка уровня заливки бетонной смеси.

4.14.4 Опалубка должна обладать прочностью, жёсткостью, неизменяемостью формы и устойчивостью, в рабочем положении и в условиях монтажа и транспортирования.

4.14.5 Производитель работ должен произвести измерительный контроль геометрических размеров опалубки на предмет соответствия конструкции рабочим чертежам, проверить надёжность крепления опалубки.

Таблица 1

Требования к монтажу опалубки

Приёмка опалубки	Проверить: -Соответствие геометрических размеров опалубки проектным. -Положение опалубки относительно разбивочных осей в плане и по вертикали, в т.ч. обозначение проектных отметок верха бетонированной конструкции внутри поверхности опалубки.	Метод контроля: Измерительный всех элементов, Технический осмотр	Документация: Общий журнал работ, Журнал бетонных работ, Акт освидетельствования скрытых работ.
Приёмочный контроль осуществляют: мастер, геодезист, инженер производитель работ			

4.15 Требования к укладываемой бетонной смеси.

4.15.1 Укладываемая бетонная смесь должна соответствовать требованиям рабочей документации и ГОСТ 7473-2010 «Смеси бетонные. Технические условия». Каждая партия бетонной смеси, поставляемая на объекты нового строительства должна иметь документ о качестве, в котором должны быть указаны:

- изготовитель, дата и время отправки бетонной смеси;
- вид бетонной смеси и ее условное обозначение;
- номер состава бетонной смеси, класс или марка бетона по прочности на сжатие в проектном возрасте;
- то же по прочности на растяжение при изгибе;
- коэффициент вариаций прочности бетона, требуемая прочность бетона;
- вид и объем доставок;
- наибольшая крупность заполнителя, удобоукладываемость бетонной смеси у места укладки;
- водонепроницаемость;
- морозостойкость;
- номер сопроводительного документа;

- гарантии изготовителя;
- другие показатели (при необходимости).

4.15.7 Подвижность бетонной смеси должна быть оговорена и согласована с разработчиком технологии. Для каждой конструкции она должна быть указана в ППР и на площадке подтверждена лабораторным способом – расплыв обратного конуса - не менее 59см.

4.15.8 До укладки бетонной смеси должны быть проверены:

- наличие актов на выполненные ранее скрытые работы;
- правильность установки и надежность закрепления опалубки, поддерживающих лесов, креплений и подмостей;
- подготовленность всех механизмов и приспособлений, обеспечивающих производство бетонных работ;
- чистота основания или ранее уложенного слоя бетона и внутренней поверхности опалубки;
- наличие на внутренней поверхности опалубки смазки;
- состояние арматуры и закладных деталей (наличие масла, ржавчины и т.д.);
- соответствие положения установленных изделий проекту;
- выноска проектной отметки верха бетонирования на внутренней поверхности опалубки.

4.15.9 Без утверждённого и согласованно проекта производства работ, технологических карт, бетонные работы категорически запрещаются. В журнал бетонных работ в обязательном порядке заносятся номера паспортов на поставленную бетонную смесь, величина расплыва конуса,

подтверждающую подвижность бетонной смеси. Те же самые номера должны быть занесены в акт на скрытые работы..

- 4.16 Разработанным регламентом рекомендуется применять следующий состав бетонной смеси (Таблица 2):

Таблица 2

Рекомендуемый состав БСГ В35Р6F300W6

Составляющие		Расход на 1000л, кг	
1.Портландцемент М500 Д0 (ЦЕМ- I)		400	
2.Зола-унос		120	
3.Габбродиабаз, отсев		700	
4.Габбродиабаз щебень фр. 5-10		1050	
5.Микрокремнезем	МБ 10-01	31,5	36
6. С-3		3,5	
7.Вода		228	

- 4.17 В момент укладки бетонной смеси необходимо заформовать 9 бетонных образцов 100x100x100мм необходимых для подтверждения прочности бетона в возрасте 7 и 28 суток. Храниться они должны в тех же условиях, что и сама строительная конструкция. Опалубку принимать в соответствии с табл.2 СНиП 3.01.01.-87.
- 4.19 Мероприятия по уходу за бетоном, контроль за их выполнением и сроки распалубки должны устанавливаться ППР.
- 4.20 При обнаружении деформаций или смещений опалубки более 5% бетонирование должно быть прекращено. Необходимо обследовать повреждения, выработать необходимые решения составить протокол и только после этого приступать к дальнейшему производству работ.
- 4.21 Приемку конструкций следует оформлять в установленном порядке актом освидетельствования скрытых работ и актом на приемку ответственных конструкций.
- 4.22 При приемке выполненных бетонных работ проверяется:
- фактическая прочность бетона;

- качество поверхности конструкций;
- качество применяемых в конструкции материалов и изделий;
- геометрические размеры, соответствие конструкции рабочим чертежам;
- соответствие проектному положению всей конструкции, а также отверстий, каналов, проемов, закладных деталей;
- нанесение несмываемой краской на распалубленные конструкции осей оборудования и отметки верха конструкций.

4.23 В зимний период времени (когда необходим прогрев бетона) в обязательном порядке ведётся журнал ухода за бетоном, где указана схема бетонируемого участка места установки скважин для замера температур и приложены листы замеров нагрева бетонного массива в течении первых трёх суток.

4.24 Все действия по осуществлению контроля качества записываются в специальные журналы. По истечении срока выдерживания бетона в опалубке указанного в ППР, но не менее трёх суток, производится распалубливание конструкции.

4.25 Требования к составу и оформлению исполнительной документации.

В состав исполнительной документации должны входить:

Проект производства работ, выполненной организацией, имеющей соответствующую лицензию (разрешение СРО) и согласованный с «Заказчиком».

4.25.2 Проект производства работ должен включать в себя:

- Технологию выполнения бетонных работ;
- Систему контроля качества выполнения бетонных работ.
- Мероприятия по технике безопасности.

4.26 В процессе выполнения работ в обязательном порядке заполняются журналы:

- Общий журнал работ;

- Журнал бетонных работ;
- Журнал по уходу за бетоном;
- Журнал проведения техники безопасности;
- Журнал совмещённых работ.

4.27 В исполнительную документацию на бетонные работы прикладываются:

- акты на скрытые работы,
- акты освидетельствования ответственных конструкций,
- протоколы лабораторных испытаний,
- заключения экспертиз (если они были необходимы),
- паспорта на бетонную смесь,
- сертификаты качества применяемых материалов,
- рабочая документация (рабочий проект),

5. Квалификационный состав бригады

Расчёт производился на основании проведённой работы бригадой по бетонированию полости под плитой днища ТА-ЭУ и действующим нормативам;

5.1 Квалификационный состав звена:

- Машинист автобетоносмесителя – 1 чел
- Машинист бетононасоса 6 разряда – 1 чел.
- Бетонщик 4р -1чел; 3р -1чел
- Слесарь строительный 4р-1чел.; 3р.-1чел.

5.2 Расчёт производительности труда.

Расчёт производительности труда произведён согласно нормам по трудозатратам (Таблица 3).

Таблица 3

Расчёт производительности труда по нагнетательной технологии

Процессы	Ед. изм.	К-во общее	Состав звена	Продолжительность работы, ч.	Норма времени		Обоснование
					На ед.	На объем	
Устройство металлической опалубки	на 1м ² пов-ти	23,00	Слесари строительные: 4р-1чел.; 3р-1чел.	7,82	0,41	9,43	§ В14-4-21,1
Разборка металлической опалубки	на 1м ² пов-ти	23,00			0,27	6,21	§ В14-4-21,1
Устройство отверстий в опалубке	на 100шт.	0,04			1,4	0,056	§ Е40-2-6,1
Установка манжета, герметизация отверстия	на 10 м.п.	0,14	Машинист БН: 1р-1чел.; Бетонщик и: 4р-1чел; 3р-1чел.	2,3	3,6	0,504	§ Е22-1-1,6
Нагнетание бетонной смеси в полость	на 1м ³	16			0,05	0,8	§ В14-4-26,в
Монтаж бетонопроводов	на 100м	0,14			25	3,5	§ В14-4-25, 1, 2, 3
Очистка бетонопроводов	на 100м	0,14			2,6	0,364	
Обрезка труб	на 1 шт.	4		0,4	0,1	0,4	
Итого						21,2	

5.3 Область рациональных параметров (Таблица 4) производства работ по новой нагнетательной технологии, при которых обеспечивается высокое качество заполнения полости при минимальных затратах труда и высоких темпах работ.

Таблица 4

Рекомендуемые параметры производства бетонирования полостей по
нагнетательной технологии

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Подвижность бетонной смеси, не менее	P6
2	Количество бетоноводов, шт	1-4
3	Высота полости, мм	150-350
4	Скорость истечения смеси (1/4бетоновода), см/с	11,3/45,2
5	Расположение бетоноводов в полости в плане	2/2
6	Величина подпорной стенки	Не менее 0,5 высоты полости
7	Производительность работ	до 20м ³ в час
8	Тип нагнетального устройства	Роторный бетононасос

6. Правила техники безопасности.

6.1 Работы по бетонированию полости под промышленным оборудованием методом нагнетания должны выполняться в соответствии с требованиями СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве» Ч. I. Общие положения, «Безопасность труда в строительстве» Ч. II. Строительное производство, Федеральных Законов: «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», в соответствии с требованиями Ростехнадзора России техническими условиями на применяемые изделия, материалы, оборудование, приспособления, инструменты.

6.5 Строительный мусор перед укладкой бетонной смеси следует удалять промышленными пылесосами. Не допускается продувать забетонированные поверхности сжатым воздухом.

6.6 Складевать и хранить материалы, изделия, оборудование и элементы технологической оснастки следует в соответствии со СНиП 12-03-2001, ГОСТ 12.3.009-76*, а также в соответствии с требованиями безопасности, изложенными в технических материалах и технических условиях на конкретное оборудование.

6.7 Электробезопасность на строительной площадке и участках работ должна обеспечиваться в соответствии с ПОТ РМ-016-2001 «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок».

Лица, обслуживающие электроустановки, должны быть обучены и аттестованы по квалификационной группе техники безопасности.

7. Нормативные ссылки

В настоящем технологическом регламенте и при его разработке использованы ссылки на следующие нормативные документы

- 7.1. СНиПЗ.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции.
- 7.2. СНиП 3.01.01-85* Организация строительного производства.
- 7.3. ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия.
- 7.4. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний.
- 7.5. ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия.
- 7.6. ГОСТ 9757-90. Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия.
- 7.7. ГОСТ 9758-86. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний.
- 7.8. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
- 7.9. ГОСТ 10060.0-95 Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие положения.
- 7.10. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
- 7.11. ГОСТ 10181-2000 Смеси бетонные. Методы испытаний.
- 7.12. ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
- 7.13. ГОСТ 17624-87 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
- 7.14. ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.
- 7.15. ГОСТ 18105-86 «Бетоны. Правила контроля прочности»

- 7.16. ГОСТ Р 52085-2003 «Опалубка. Общие технические условия».
- 7.17. ГОСТ 23732-79 Вода для бетонов и растворов. Технические условия.
- 7.18. ГОСТ 30459-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов.
- 7.19. ГОСТ 26633-2012 Бетоны тяжёлые и мелкозернистые. Технические условия.
- 7.20. ГОСТ 25820-2000 «Бетоны легкие. Технические условия»
- 7.21. ГОСТ 27006-86 Бетоны. Правила подбора составов.
- 7.22. ГОСТ 28570-90 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций.
- 7.23. ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия.
- 7.24. ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов»
- 7.25. СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве»
- 7.26. ГОСТ 12.3.009-76* Система стандартов безопасности труда. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности.
- 7.27. ПОТ РМ-016-2001 «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок».



ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МЕТРОБЕТОН»

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Свидетельство об аттестации ИЛ № SP.01.01.306.061

194214 г. Санкт-Петербург
ул. Ново-Никитинская, д. 17
тел. 301-42-31



Утверждаю:

Начальник ИЛ

М.Р. Мартынова

24 сентября 2014 г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 24/09/14R

Образцов бетона
наименование продукции

на определение

Прочности бетона на сжатие по ГОСТ 28570.1. **Объект испытаний** Образцы цилиндры (керны) бетона, отобранные из конструкции

Наименование, НД на продукцию, страна, фирма, заводской номер

Макета днища СМ-Э-3552. **Заказчик** ООО «Техноарм +»4. **Дата поступления образцов** 23.09.145. **Протокол отбора проб** от 22.09.146. **Тип подготовки рабочих поверхностей образцов** обрезка7. **Вид испытаний** Определение прочности бетона на осевое сжатие

проверка соответствия требованиям НД

8. **Метод испытаний** Осевое сжатие по п. 7.2 ГОСТ 10180-20129. **Дополнительная информация** испытания образцов произведены через прокладки ДВП δ=3мм10. **Результаты испытаний**

Маркировка образцов	№ керна	№ образца	Размеры образца, мм		масса образца, г	Объемный вес бетона образца, кг/м³	Средний объемный вес бетона по слою, кг/м³	Разрушающая нагрузка, Н	R _{обр} МПа	Прочность бетона, приведенная к базовому образцу, МПа	Средняя прочность серии образцов, МПа	Средняя прочность серии образцов, по слою,	Фактический класс бетона по сх. "Г" ГОСТ 18105-2010
			d	h									
Слой Б1.1	1	1	103	103	1828	2,13	2100	169000	20,29	20,3	19,9	21,3	17,1
		2	102	102	1784	2,14		160000	19,59	19,6			
		3	102	104	1793	2,11		132000	16,16	16,2			
	2	1	103	100	1709	2,05		187000	22,45	22,5	22,7		
		2	103	102	1738	2,08		190000	23,04	23,0			
		3	103	102	1763	2,09		143000	17,17	17,2			
Слой Б1.2	1	1	103	105	1821	2,09	2169	382000	45,87	45,9	42,4	45,8	36,6
		2	104	102	1863	2,18		315000	37,46	37,5			
		3	104	106	1954	2,20		327000	38,89	38,9			
	2	1	104	101	1836	2,17		394000	46,85	46,9	49,2		
		2	104	100	1859	2,19		437000	51,47	51,5			
		3	104	104	1901	2,17		323000	38,41	38,4			

Маркировка образцов	№ керна	№ образца	Размеры образца, мм		масса образца, г	Объемный вес бетона образца, кг/м³	Средний объемный вес бетона по слою, кг/м³	Разрушающая нагрузка, Н	Робр МПа	Прочность бетона, приведенная к базовому образцу, МПа	Средняя прочность серии образцов, МПа	Средняя прочность серии образцов, по слою,	Фактический класс бетона по сх. "Г" ГОСТ18105-2010
			d	h									
Слой БЗ.1	1	1	104	102	1005	1,18	1158	59000	7,02	7,0	7,7	9,1	7,3
		2	103	103	1009	1,18		52000	6,24	6,2			
		3	103	103	979	1,16		69000	8,37	8,4			
	2	1	102	101	940	1,14		93000	11,39	11,4	10,5		
		2	103	101	944	1,14		79000	9,58	9,6			
Слой БЗ.2	1	1	103	103	1068	1,26	1253	90000	10,91	10,9	11,1	11,6	9,3
		2	103	102	1061	1,26		75000	9,09	9,1			
		3	103	104	1079	1,26		93000	11,28	11,3			
	2	1	103	100	1039	1,26		91000	11,03	11,0	12,2		
		2	103	103	1050	1,24		71000	8,61	8,6			
		3	103	100	1034	1,24		111000	13,33	13,3			
Слой БЗ.3	1	1	102	102	1066	1,28	1239	118000	14,45	14,4	14,2	15,0	12,0
		2	104	103	1068	1,23		74000	8,80	8,8			
		3	103	104	1062	1,23		117000	14,05	14,0			
	2	1	103	100	1019	1,22		151000	18,13	18,1	15,7		
		2	103	100	1017	1,23		110000	13,34	13,3			
Слой БЗ.4	1	1	104	99	1023	1,24	1237	105000	12,49	12,5	13,0	13,6	10,9
		2	104	103	1062	1,23		113000	13,44	13,4			
		3	104	103	1080	1,25		91000	10,82	10,8			
	2	1	103	101	1004	1,20		128000	15,37	15,4	14,3		
		2	103	103	1055	1,24		81000	9,82	9,8			
		3	103	103	1073	1,27		109000	13,22	13,2			
Слой БЗ.5	1	1	104	100	1113	1,32	1314	89000	10,58	10,6	12,0	12,0	9,6
		2	104	100	1125	1,34		112000	13,32	13,3			
	2	1	104	101	1118	1,32		97000	11,54	11,5	12,0		
		2	104	102	1112	1,30		94000	11,18	11,2			
		3	103	97	1042	1,29		104000	12,49	12,5			
Слой БЗ.6	1	1	103	102	1068	1,26	1301	87000	10,45	10,4	12,7	12,7	10,1
		2	104	100	1075	1,28		100000	11,89	11,9			
		3	104	101	1093	1,29		102000	12,13	12,1			
		4	104	101	1110	1,31		118000	14,03	14,0			
	2	1	104	100	1107	1,32		90000	10,70	10,7	12,7		
		2	104	100	1118	1,33		97000	11,54	11,5			
		3	104	100	1107	1,32		116000	13,79	13,8			

11. Обработка результатов испытаний: по п. 6 ГОСТ 28570
указывается метод обработки испытаний или дается ссылка на раздел НД

12. Перечень средств измерений и испытательного оборудования, применяемых при испытании:

№ п/п	Наименование СИ и ИО	Заводской номер	Дата поверки, аттестации
1	Пресс гидравлический МС-500	№1196	№546 от 26.11.2013г.
2	Весы лабораторные EW-60001M	№017580048	№0003845 от 06.02.2014г
3	Штангенциркуль ШЦ	№P86055	№0133797 от 16.08.2013г.

ЗАО «МЕТРОБЕТОН»

Испытания провела инженер  Е.Г. Логинова

Протокол касается только образцов, подвергнутых испытанию.
Перепечатка протокола без согласия исполнителей запрещается.