

*На правах рукописи*

**МАЛИНКИН АНДРЕЙ СЕРГЕЕВИЧ**

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

Специальность 05.23.08 – Технология и организация строительства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2015

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Верстов Владимир Владимирович**

Официальные оппоненты: **Кузьмичёв Виктор Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», кафедра транспортно-технологических систем, профессор;

**Романовский Виктор Николаевич**, кандидат технических наук, ООО ПО «Киришинефтеоргсинтез» (КИНЕФ), г. Кириши, руководитель группы отдела технического надзора

Ведущая организация: **ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»**

Защита диссертации состоится «23» июня 2015 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д **212.223.01** при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория 219).

Тел./Факс: (812) 316-58-72

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://www.spbgasu.ru/>

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Автореферат разослан «\_\_» апреля 2015 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.т.н.

Конюшков Владимир Викторович

## **I ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**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.

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 зависи-

мость 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 бетоноводов 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 150-350 мм, 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 многофазового использования в модельных экспериментах с высокой жизнеспособностью.

*В четвертой 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.*

## **II ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

**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.**

На основе выполненного сравнительного анализа известные способы бетонирования полостей под промышленными аппаратами можно свести в три группы:

- ручной способ – зачеканивание и трамбование;
- механизированный способ с применением жестких смесей и вибрационного воздействия в лотке накопителе;
- технология с применением комплексного механизированного воздействия.

Анализ показал, что наиболее эффективным является третий способ бетонирования полостей с применением комплексного вибрационного воздействия на бетонную смесь. Этот способ обладает следующими преимуществами перед двумя другими: отсутствие расслоения укладываемой бетонной смеси; высокая производительность работ за счёт уменьшения времени заполнения технологического зазора вследствие вибрационной обработки всего объёма бетонной смеси на всем пути ее движения в зазоре; равномерное распределение плотности бетонной смеси по всей площади подливки.

Недостатками рассматриваемого способа являются ограниченные технологические возможности, т.е. низкая скорость заполнения бетонной смесью зазора между днищем оборудования и фундаментом, по сравнению с принудитель-

ной подачей бетонной смеси, ограничения заполняемой полости по высоте, невозможность применения способа при ограничениях негативных воздействий вибрации на смонтированное оборудование, необходимость изготовления нестандартного оборудования (виброток и виброобойма), невозможность подачи бетонной смеси с нескольких сторон, применение малоподвижных смесей, требующих дополнительного вибрационного уплотнения. В результате анализа установлено, что в настоящее время отсутствуют универсальные технологические приемы бетонирования и методы контроля качества заполнения таких полостей, недостаточно обобщен накопленный опыт в этой отрасли.

На данном этапе развития машиностроительной, химической, энергетической и других отраслей промышленности происходит непрерывное увеличение единичной мощности агрегатов, приводящее к необходимости монтажа укрупненных узлов, имеющих значительную площадь опорных плоскостей. Помимо этого, зачастую такие аппараты имеют не плоскую 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 (50–80 мм). Существующие способы бетонирования полостей не способны обеспечить качественное заполнение бетонной смесью таких полостей.

Для решения этой задачи выдвинута гипотеза, что качественное заполнение полостей будет достигнуто при применении следующих технологических решений:

- бетонирование полостей методом нагнетания при рациональных технологических параметрах;
- применение самоуплотняющейся бетонной смеси;
- максимальное использование типовой технологической оснастки и оборудования.

Учитывая современные требования к заполнению полостей и на основе выдвинутой гипотезы, автором предложена новая нагнетательная технология бетонирования полостей под промышленными аппаратами. В основе предлагаемой технологии лежит применение бетононасоса подающего СУБС в технологический зазор как с одной, так и с нескольких сторон в зависимости от конструктивного решения зазора. Сущность технологии заключается в том, что бетонирование полости под технологическим оборудованием производится из центра или с торца полости без дальнейшего принудительного уплотнения бетонной смеси, а подача СУБС в полость осуществляется непрерывно посредством бетоновода.

Новый метод бетонирования полости под технологическим оборудованием 1 (рис. 1) осуществляется следующим образом. На определенном расстоянии от корпуса оборудования, смонтированного на монтажные опоры 2 для выверки точности и опирания оборудования, собирают опалубку 3, причем верхний уровень последней должен быть выше отметки днища корпуса оборудования. В опалубке в местах ввода бетоноводов 5 устроены отверстия 4 с уплотнением 10. Затем бетоноводы вводят в полость, образованную днищем оборудования и фундаментом, не доводя их до центра днища на 4-5 диаметров бетоновода

(400-500 мм), после чего в бетоноводы подается СУБС 6. Подача производится 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 окончании вывода бетоновода отверстия перекрываются задвижками 8. В случае, когда бетоноводы замоноличивают в объеме полости их срезают при демонтаже опалубки.

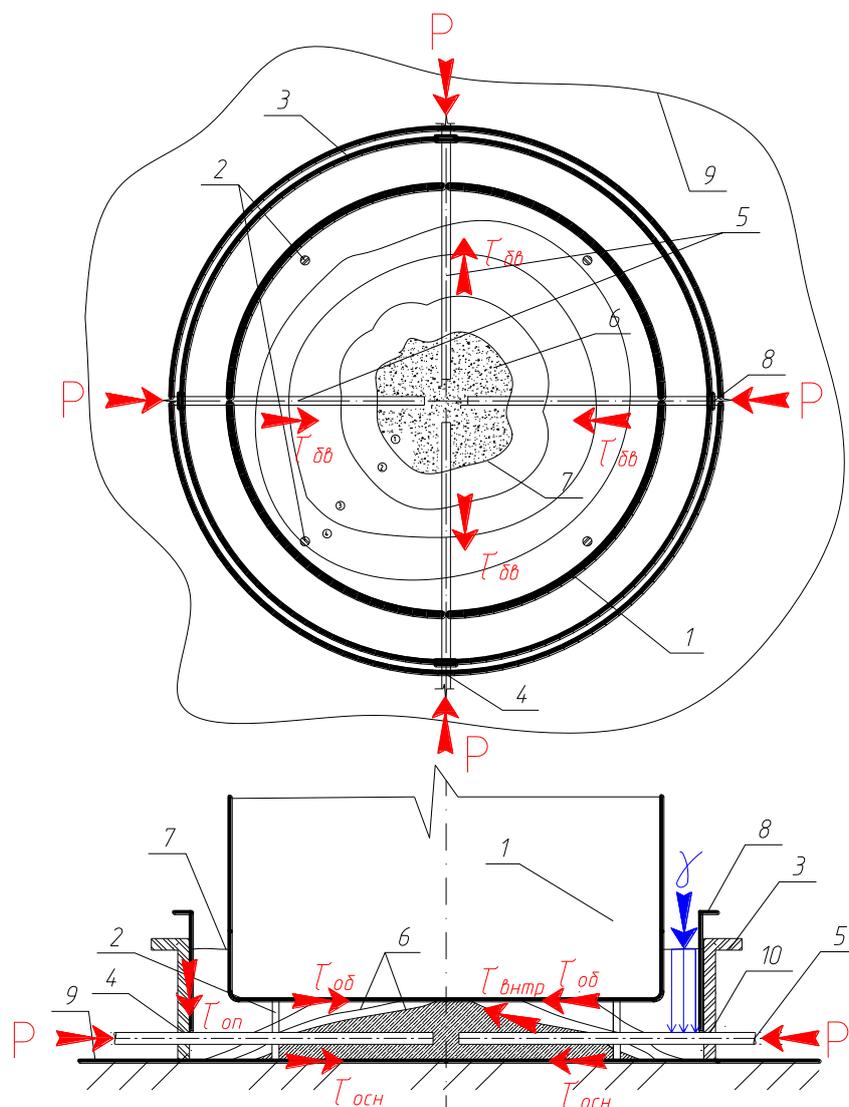


Рис. 1. Схема бетонирования полости из центра нагнетательным методом (физическая модель): 1 – оборудование; 2 – опоры; 3 – опалубка; 4 – отверстия в опалубке под бетоноводы; 5 – бетоноводы; 6 – бетонная смесь; 7 – уровень бетонирования (подпора); 8 – заглушки; 9 – основание; 10 – уплотнитель.

Предлагаемый метод обладает следующими преимуществами перед известными:

- возможность бетонировать полости, имеющие в своем объеме технологические включения;
- отсутствие ограничений по высоте полости;
- возможность подливки бетонной смеси под технологическое оборудование практически любых размеров и конфигураций в плане;

- повышение качества и производительности работ за счет применения бетонных смесей высокой подвижности при их принудительной подаче;
- возможность подачи бетонной смеси с нескольких сторон;
- отсутствие дополнительных технологических операций и оборудования по уплотнению бетонной смеси;
- применение стандартного оборудования.

**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.**

Бетонные смеси представляют собой коллоидно-дисперсную систему. 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. Такая теория обосновывает перемещение коллоидных частиц из одного положения равновесия в другое.

На основании этой теории были выведены формулы по определению коэффициента диффузии (кинематической вязкости):

$$D = \frac{\delta^2}{6t}, \text{ [м}^2/\text{с]}, \text{ [Ст]}, \text{ где } t = \delta \sqrt{\frac{2\pi m}{kT}} \cdot e^{\frac{\Delta U}{kT}} \quad (1)$$

и динамической вязкости:

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

являющиеся базовыми параметрами, определяющими реологические характеристики различных смесей, где  $\delta$  – длина скачка коллоидной частицы из одного положения равновесия в другое, равная диаметру частицы;  $t$  – время пребывания частицы в одном из положений;  $m$  – масса коллоидной частицы;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура;  $\Delta U$  – кинетическая энергия частицы.

Используя эти параметры существует возможность определения поведения различных строительных смесей, в том числе мелкозернистых СУБС, при их подаче по бетоноводам и расчета параметров бетононасосной техники. Для изучения процессов, происходящих при заполнении полости бетонной смесью соискателем была построена физическая модель с учетом сил (вязких, инерционных, гравитационных и трения) действующих в процессе распространения бетонной смеси в зазоре между основанием и оборудованием (см. рис. 1).

По предлагаемой модели для осуществления подачи бетонной смеси в полость необходимо, чтобы давление  $P$ , создаваемое роторным бетононасосом, было больше, чем давление  $P_1$ , равное сумме “противодавлений”, возникающих от сил противодействующих распространению бетонной смеси в полости:

$$P_1 = F(\tau_{\text{осн}}, \tau_{\text{оп}}, \tau_{\text{об}}, \tau_{\text{обв}}, \tau_{\text{внутр}}, \gamma) \quad (3)$$

где  $\tau_{\text{осн}}$  – “противодавление” от силы трения бетонной смеси по поверхности основания;  $\tau_{\text{об}}$  – “противодавление” от силы трения бетонной смеси по поверхности оборудования;  $\tau_{\text{оп}}$  – “противодавление” от силы трения бетонной смеси по боковым поверхностям опалубки;  $\tau_{\text{обв}}$  – “противодавление” от силы трения бетонной смеси по поверхностям бетоноводов;  $\tau_{\text{внутр}}$  – “противодавление” от силы вязкого сопротивления бетонной смеси;  $\gamma$  – “противодавление” от объемного веса столба смеси, расположенного выше отметки устья бетоноводов.

Для определения количественного показателя качества заполнения полости бетонной смесью был разработан критерий – коэффициент заполнения полости  $K_n$ , который определяется как:

$$K_n = \frac{S_{\text{общ}} + S_{\text{пор}}}{S_{\text{общ}}} \cdot \frac{V_{\text{общ}} + V_{\text{пор}}}{V_{\text{общ}}} \cdot \frac{S_{\text{общ}} + S_{\text{пор}}}{S_{\text{общ}}}, \quad (4)$$

где  $S_{\text{общ}}$  – площадь днища аппарата или основания;  $V_{\text{общ}}$  – объем полости;  $S_{\text{пор}}$  – площадь незаполненных участков;  $V_{\text{пор}}$  – объем незаполненных участков полости.

Следует учитывать, что значения  $S_{\text{пор}}$  и  $S_{\text{общ}}$  для основания и днища могут быть различны и принимаются для каждого случая отдельно. Данная формула позволяет 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:

$$K_n = F(v_{\text{ист}}, B, V, P, \Pi, Z), \quad (5)$$

где  $v_{\text{ист}}$  – скорость истечения бетонной смеси, м/ч;  $B$  – зависимость расположения устья бетоноводов по площади;  $V$  – зависимость влияния наличия включений в полости;  $P$  – зависимость от реологических свойств бетонной смеси;  $\Pi$  – влияние величины подпорной стенки;  $Z$  – влияние величины зазора.

Подробнее рассмотрим влияние двух величин:

### 1. Скорость истечения бетонной смеси

$$v_{\text{ист}} = \frac{P^2}{\sum F}, \quad [\text{м/ч}], \quad (6)$$

где  $P$  – производительность подачи смеси бетононасосом, м<sup>3</sup>/ч;  $F$  – суммарная площадь бетоноводов, м<sup>2</sup>. При этом предполагается, что  $K_n \rightarrow \max$ , когда  $v_{\text{ист}} \rightarrow \min$ ,  $P \in [5 - 40]$ .

### 2. Зависимость влияния наличия включений в полости

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

$$\begin{cases} K_n \rightarrow \max, \text{ когда } B \rightarrow 0 \\ B = \frac{V_{\text{вкл}}}{V_{\text{общ}}} \cdot \frac{d}{a} \cdot k_{\text{фр}} \cdot k_n \cdot \Phi, \end{cases} \quad (7)$$

где  $V_{\text{вкл}}$  – объем включений в полости;  $\Phi$  – коэффициент формы включения (при круглом сечении  $\Phi = 0,5$ , квадратном  $\Phi = 1$ , сложной формы  $\Phi = 2$ );  $d(h)$  – размер поперечного сечения включения, м;  $a$  – размер зазора между днищем и включением, м;  $k_{\text{фр}}$  – коэффициент зависимости зазора от размера мелкого заполнителя  $M_k$  (если  $a \neq 0$  и  $a > 1,5 M_k$ , то  $k_{\text{фр}} = 1$ );  $k_n$  – коэффициент зависящий от соотношения высоты полости  $H$  к размеру включения (если  $H/d \geq 2$  то  $k_n = 1$ ).

**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.**

Экспериментальные исследования состояли из трех этапов: 1. подбор состава бетонной смеси для проведения технологических модельных испытаний; 2. технологические модельные многократные эксперименты; 3. натуральный производственный эксперимент.

*Первый этап* был посвящен разработке бетонной смеси с высокой степенью живучести, обладающей заданными реологическими свойствами. Бетонные смеси, применяемые в массовом строительстве, обычно, имеют живучесть смеси около 2 – 3 часов, этого времени недостаточно для проведения многократных испытаний. На рынке химических веществ и бетонных смесей имеется ряд добавок, способных сохранять живучесть смеси до 72 часов. Для проведения экспериментов был принят базовый состав бетонной смеси (табл. 1), представляющей собой мелкодисперсную СУБС с расплывом: обратного конуса не менее 600мм (Р6); на вискозиметре Суттарда 225 – 240мм.

Таблица 1

Базовый состав замеса

Материал	На 1 м <sup>3</sup>	10л
Цемент М500 (ЦЕМ I), кг	500	6,0
Песок Габбродиабазовый $\leq 2,5$ мм, кг	700	6,0
Песок $\leq 2,5$ мм, кг	500	5,0
Песок $\leq 0,63$ мм, 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. № состава + замедлитель: 1 – базовый; 2 – базовый под воздействием отрицательной температуры (морозильная камера,  $T = -8^{\circ}\text{C}$ ); 3 – Сахар 0,05 % от массы цемента ( $M_{\text{ц}}$ ); 4 – Сахар 0,2 %  $M_{\text{ц}}$ ; 5 – Сахар 1,0 %  $M_{\text{ц}}$ ; 6 – Декстрин (сухое вещество) 0,1 %  $M_{\text{ц}}$  (в виде 20 % раствора); 7 – Декстрин (сухое вещество) 0,3 %  $M_{\text{ц}}$  (в виде 20 % раство-

ра); 8 – Спирт 2 %  $M_{ц}$ . Для хранения составов применялись герметичные емкости объемом 1 л.

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 15-20 %. С целью продления жизнеспособности этих смесей в них были добавлены водные растворы сахара и декстрина соответственно, после чего их подвижность составляла 80-90 % от первоначальной еще в течение 5 суток. Это позволило проводить многократные технологические эксперименты на одной порции приготовленной бетонной смеси, значительно сократить расход материалов и трудоемкость проведения экспериментов и получать достоверные результаты.

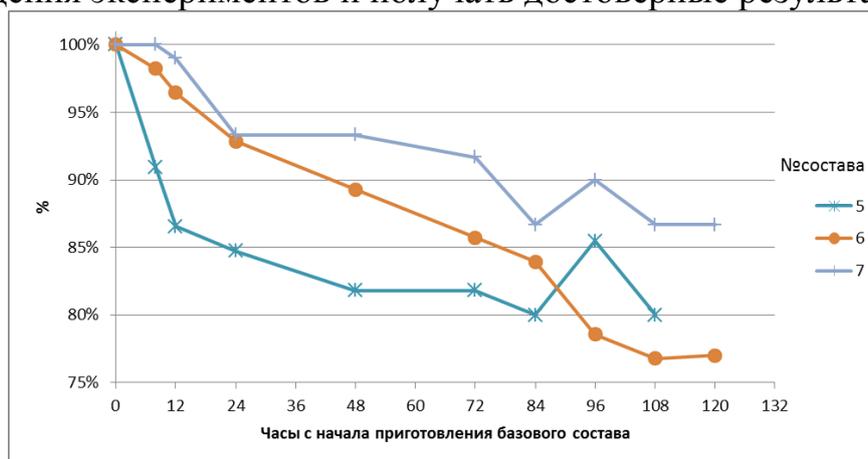


Рис. 2. График сохранения подвижности составов, проходящих по критерию сохранения подвижности во времени

По полученным результатам построены кривые зависимости: время – % от первоначальной подвижности (рис. 2). Для проведения модельных технологических экспериментов был выбран 7-й состав, для которого была определена прочность бетона при осевом сжатии в возрасте 28 и 90 суток. Прочность составила 4,5 и 31,7 МПа соответственно.

*Второй этап* был посвящен моделированию разработанной технологии на экспериментальной установке (рис. 3). В состав установки входят: имитационный макет полостей (далее макет); устройство регулирования давления и скорости подачи бетонной смеси; шланги, имитирующие бетоновод; средства обслуживания; регистрирующая и измерительная аппаратура; бетоносмесительная аппаратура. В ходе эксперимента рассматривалось влияние способов подачи бетонной смеси и параметров бетонирования на качество заполнения полостей. Эти параметры делились на фиксированные и изменяемые (искомые оптимальные технологические характеристики).

*Фиксированные:* размер заполняемой полости, в том числе высота  $H$ ; величина зазора по контуру  $Z$ ; подвижность бетонной смеси  $P$ .

*Изменяемые:* количество бетоноводов; расположения устья бетоновода  $B$ ; скорость истечения смеси  $v_{ист}$ ; наличие технологических элементов внутри полости  $B$ .

*При этом регистрировались следующие показания:* характер начала заполнения объема; направление распространения потока по площади; время и характер смачивания верхнего прозрачного перекрытия; характер сопряжения потоков (2 и более бетоноводов); влияние технологических включений  $B$  в по-

лости на распространение смеси и ее заполнение объема; качество заполнения полости ( $K_n$ ); характер дефектов – наличие и места расположения.

*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; цифровая видеокамера.

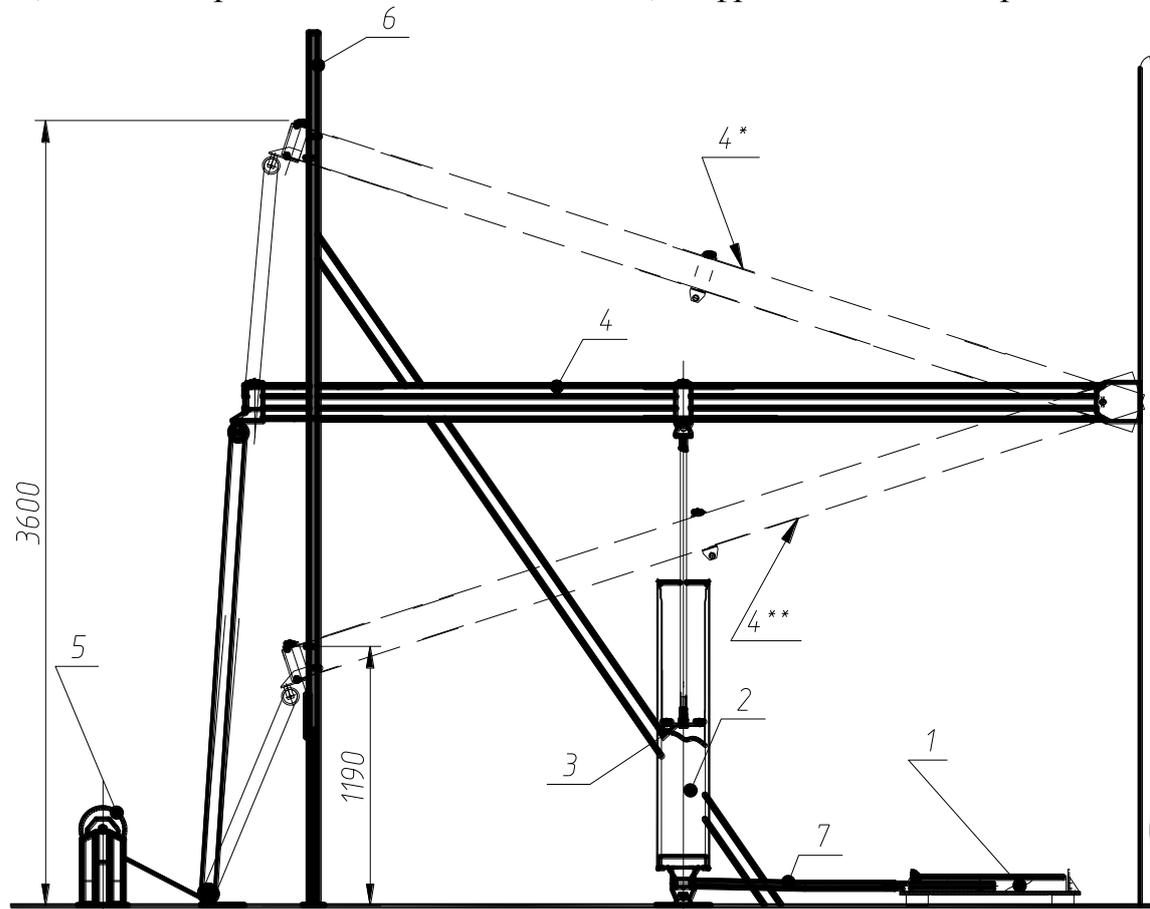


Рис. 3. Схема экспериментальной установки для проведения модельных экспериментов для подачи бетонной смеси: 1 – макет; 2 – цилиндр с бетонной смесью; 3 – поршень; 4 – рычаг; 4\* – верхнее положение рычага; 4\*\* – нижнее положение рычага; 5 – лебедка; 6 – стойка; 7 – бетоновод

За основу процесса, моделируемого на установке, принята разрабатываемая технология бетонирования полостей с применением промышленных бетононасосов производительностью 5-40 м<sup>3</sup>/ч. 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. Из теории гидравлического подобия следует, что необходимо с изменением масштаба пропорционально изменять геометрические величины системы полость – бетоновод. С учетом масштабного коэффициента приняты следующие характеристики модели (табл. 2).

В ходе экспериментов физико-механические характеристики бетона не определялись, т.к. после проведения одного опыта смесь извлекалась из макета, перемешивалась и использовалась для проведения дальнейших экспериментов. При математическом планировании эксперимента по исследованию зависимости скорости подачи бетонной смеси в полость на качество заполнения полости, обосновывалась достоверность результатов эксперимента с помощью

доверительной вероятности, и было определено что необходимо провести  $N = 15$  экспериментов, чтобы заданному интервалу с  $\delta = 1,35$  соответствовала доверительная вероятность  $P = 0,96$ . Было выполнено 15 модельных экспериментов основной серии (табл. 3) по три раза каждый.

Таблица 2

**Характеристики модели**

№ п/п	Характеристика	Натура	Макет	Соотношение
1	Площадь	12,25 м <sup>2</sup>	0,49 м <sup>2</sup>	25
2	Высота	0,3 м	0,06 м	5
3	Объем	3,675 м <sup>3</sup>	0,0294 м <sup>3</sup> =29,4л	125
4	Диаметр бетоновода	125мм	25мм	5
5	Площадь сечения бетоновода	122,6 см <sup>2</sup>	4,9 см <sup>2</sup>	25
6	Производительность бетононасоса	5 м <sup>3</sup> /ч=1,39 л/с 10 м <sup>3</sup> /ч =2,78л/с 20 м <sup>3</sup> /ч=5,56 л/с 40 м <sup>3</sup> /ч=11,12 л/с	0,2 м <sup>3</sup> /ч=0,055 л/с 0,4 м <sup>3</sup> /ч =0,111 л/с 0,8 м <sup>3</sup> /ч=0,222 л/с 1,6 м <sup>3</sup> /ч=0,444л/с	25
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=11,3 см/с 1356см/ мин =22,6 см/с 2712см/ мин =45,2 см/с 5424см/ мин =90,4 см/с	678см/мин=11,3 см/с 1356см/ мин =22,6 см/с 2712см/ мин =45,2 см/с 5424см/ мин =90,4 см/с	1
9	Количество бетоноводов	1-4	1-4	1

Таблица 3

**Параметры опытов модельного эксперимента**

Номер опыта	Расплав конуса, см	Количество бетоноводов	Расположение устья бетоноводов*	Эквивалентная производительность, м <sup>3</sup> /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; 2 –7 диаметров(1/4 длины макета) от ближней торцевой стенки; 3 – по центру макета

В результате поведения экспериментов был выбран вариант с четырьмя бетоноводами, которые располагались комбинированно – два в центре, два по периферии. Суммарная эквивалентная реальная производительность составила 20 м<sup>3</sup>/ч или 5 м<sup>3</sup>/ч из каждого бетоновода, что соответствует модельной и реальной скорости истечения 11,3 см/с. На основании полученных данных и их аппроксимации были построены кривые зависимости скорости истечения бе-

тонной смеси на качество заполнения полости для 1, 2 и 4-х бетоноводов (рис. 4) и влияние технологических включений на качество заполнения полости (рис. 5). Для аппроксимированных кривых получены формулы:

– для 1-го бетоновода:  $K_{n1} = 1/(0,9799 + 0,0048 \cdot P_3)$  (8);

– для 2-х бетоноводов:  $K_{n2} = 0,9678 - 0,002 \cdot P_3$  (9);

– для 4-х бетоноводов:  $K_{n4} = 1,062 - 0,0093 \cdot \lg(P_3)$  (10),

где  $K_{ni}$  – коэффициент заполнения полости для 1-го, 2-х, 4-х бетоноводов соответственно;  $P_3$  – приведенная производительность, полученная через скорость истечения бетонной смеси (для бетоновода с рабочим сечением 100 мм); коэффициенты при  $P_3$  (0,0048; 0,002 и 0,0093) имеют размерность  $[ч/м^3]$ .

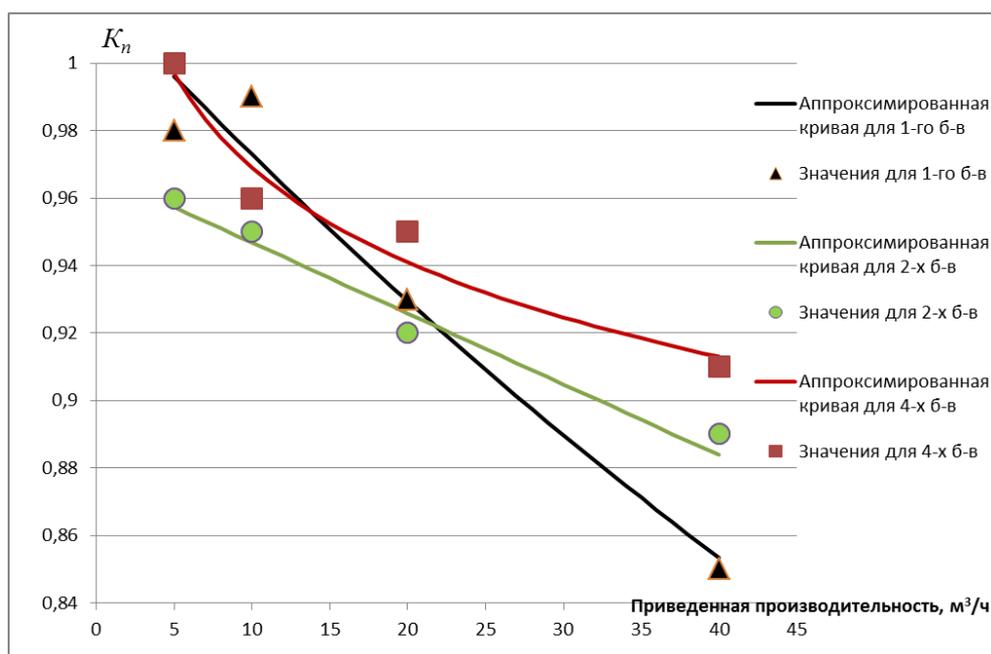


Рис. 4. Кривая зависимости скорости истечения бетонной смеси – коэффициент заполнения полости для различного количества бетоноводов

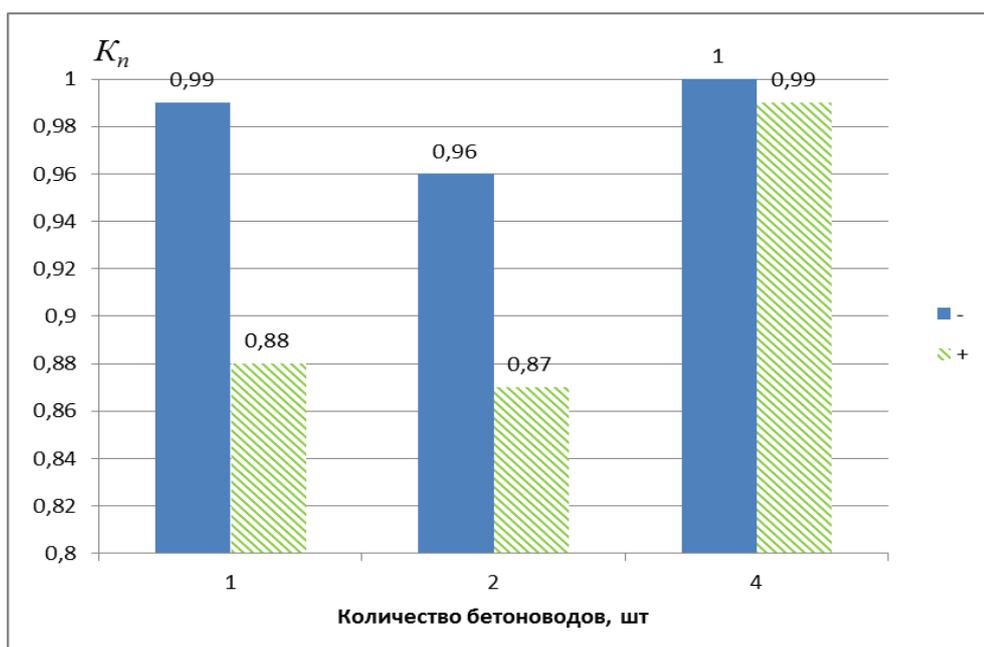


Рис. 5. Диаграмма соотношения коэффициента заполнения полости для различного количества бетоноводов при наличии (+) и отсутствии (-) включений

Из графиков видно, что максимальные значения  $K_n$  достигаются при заполнении 4-мя бетоноводами с минимальной подачей бетонной смеси вне зависимости от наличия включений.

На следующем этапе предложенная технология бетонирования полостей была проверена на масштабном макете (М1:5) имеющим большие геометрические размеры – диаметр 1,2 м (рис. 6) для определения области применения технологии по размерам площади полости. Для подачи бетонной смеси применялась экспериментальная установка, описанная выше. Отличительной особенностью данного эксперимента является не его многоповторность, а воспроизведение реальных условий твердения, для определения усадочных деформаций и оценки качества поверхности после основного набора прочности бетона (28 суток). После демонтажа перекрытия макета значительных усадочных деформаций по площади обнаружено не было.



Рис. 6. Масштабный макет: 1 – зазор между полостью и опалубкой (подпорная стенка); 2 – технологические включения; 3 – верхнее прозрачное перекрытие(днище оборудования)

Целью *третьего этапа* натурального производственного эксперимента являлась отработка технологии заполнения полости под днищем оборудования при возведении натурального фрагмента энергетического аппарата с применением промышленного оборудования – бетононасоса и уточнение технологических параметров бетонирования.

Бетонируемая полость в плане представляет собой сектор в  $40^\circ$  радиусом 3,0 м и высотой 350 мм (рис. 7,8), которая заключена между двумя металлическими листами. В этой полости расположена система горизонтально ориентированных трубопроводов диаметром 108 и 76 мм. Над трубопроводами размещена арматурная сетка А500Ø12 100×100. На сетке смонтированы гибкие гофрированные трубки диаметром 25 мм. За пределами контура образовавшейся полости располагается опалубка, которая имеет в плане дугообразную форму с радиусом изгиба 3,355 м. Над полостью она возвышается на 200 мм (подпорная стенка) с зазором по контуру в 355 мм. В съемной металлической опалубке расположено отверстие под бетоновод.

В разработанной технологии зазор образован по всему периметру бетонируемой полости. В данном случае, учитывая особенность возводимого макета,

боковые стороны сектора плиты днища были герметизированы металлическими листами опалубки. При этом появилась возможность дополнительного контроля процесса заполнения полости через отверстия диаметром 10 мм с шагом 500 мм, 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 – 1,1 м<sup>3</sup>, с учетом подпорной стенки – 1,5 м<sup>3</sup>.

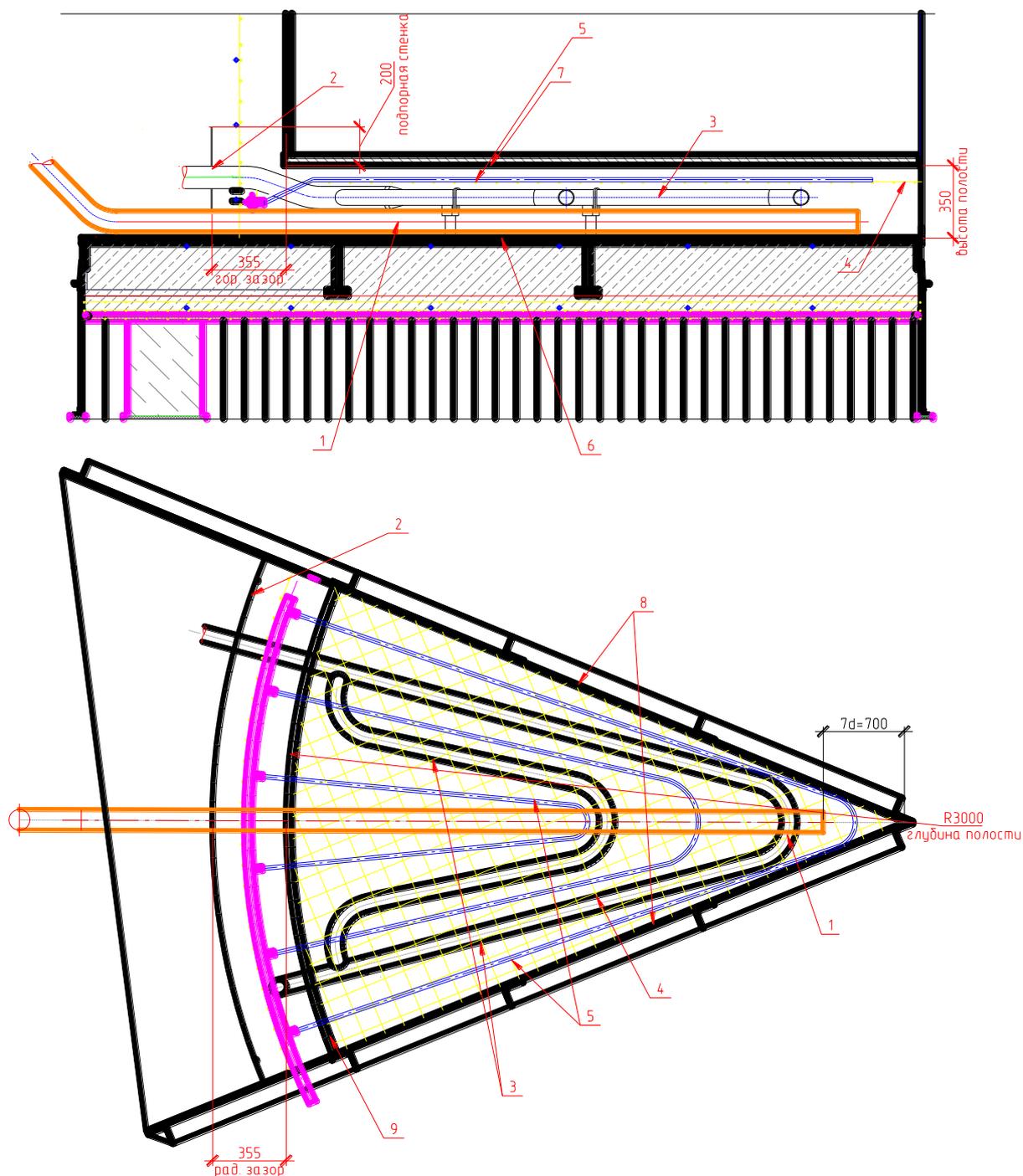


Рис. 7. Разрез и план полости натурального эксперимента: 1 – бетоновод; 2 – кольцевая съемная опалубка; 3 – трубопроводы; 4 – арматурная сетка; 5 – гибкие гофрированные трубки; 6 – нижняя металлическая плита; 7 – верхняя металлическая плита; 8 – боковая опалубка; 9 – стенка аппарата.

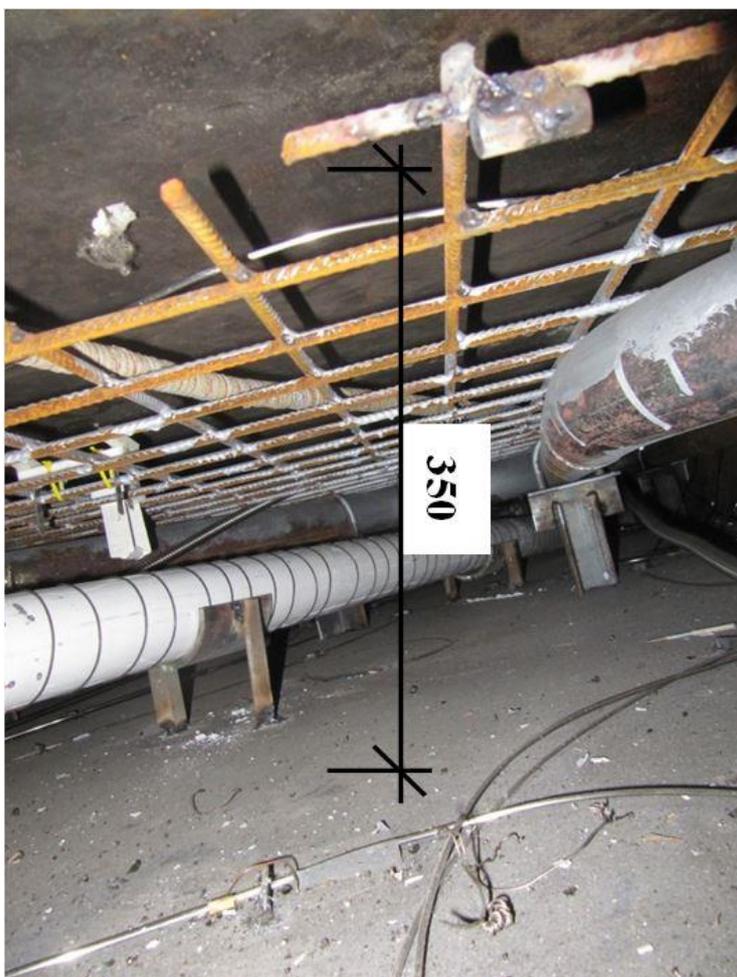


Рис. 8. Вид полости с торца до бетонирования, технологические прокладки, бетонород

Бетонород с рабочим сечением 100 мм располагался в плане по оси сектора. От основания сектора, устье бетонорода отступало на 7 диаметров бетонорода (700 мм). Для механизированной подачи бетонной смеси использовался бетононасос роторного типа (Vector) с регулируемой производительностью 5-25 м<sup>3</sup>/ч. Бетононасос оснащен расходомером с циферблатом со стрелочным индикатором, по которому определялась текущая скорость подачи смеси (через производительность), а также общий поданный объем бетонной смеси. При бетонировании применялась СУБС (БСГ В35Р6F300W6) на габбродиабазовом заполнителе (табл. 4). К бетону предъявлялись требования: по прочности на сжатие класс В35 – В40, по жаростойкости – И7.

Таблица 4

Состав 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	

В отличие от разработанной технологии, с подачей смеси с нескольких сторон, в данном опыте бетонирование производилось с одним подающим бетоноводом, вследствие чего производительность составила  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Бетонирование полости должно продолжаться до выполнения всех перечисленных условий: появления бетонной смеси во всех торцевых контрольных отверстиях, появления в угловом контрольном отверстии с гарантированным столбом бетонной смеси не менее 20 мм; до достижения гарантированной высоты подпорной стенки П 200 мм (более 0,5 высоты полости  $H$ ).

*Ход эксперимента.* В сформированную полость через отверстие в опалубке в ложементы устанавливался бетоновод. 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. Перед укладкой бетонной смеси в полость проводилась проверка её подвижности: расплыв обратного конуса составил 63 см. Смесь к бетононаосу доставлялась автобетоносмесителем. Подавалась смесь в приемный бункер-мешалку бетононаоса через раздаточный лоток. Схема контроля заполнения полости СУБС показана на рис. 9.

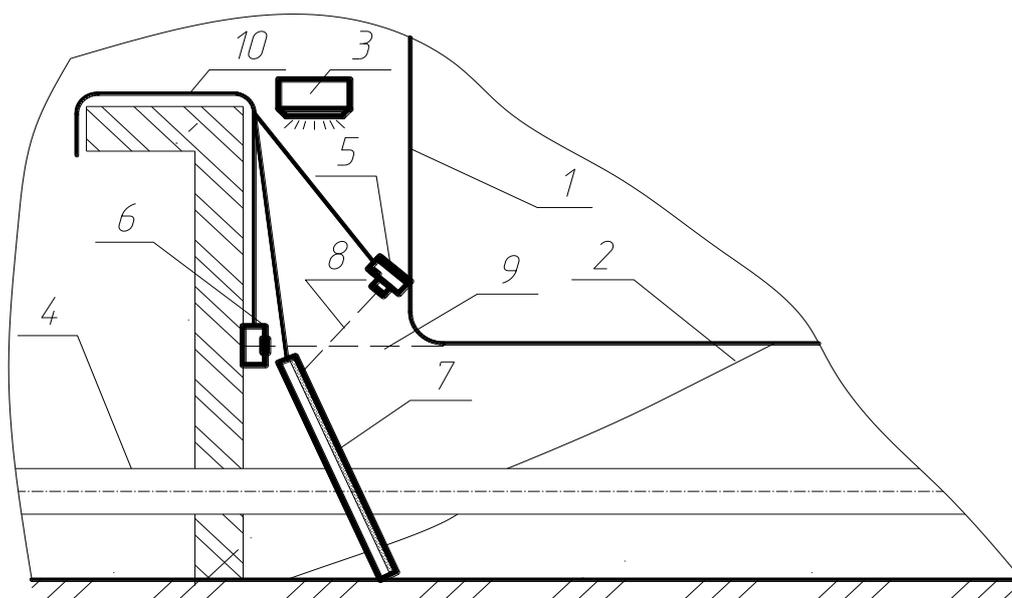


Рис. 9. Схема контроля заполнения полости: 1 – корпус оборудования; 2 – условное распространение смеси; 3 – фонарь; 4 – бетоновод; 5 – видеокамера; 6 – лазерный дальномер; 7 – зеркало; 8 – проекция съемки видеокамеры на зеркало; 9 – проекция дальномера (по плоскости днища); 10 – крепежный элемент.

Бетонная смесь заполняла пространство по ходу движения смеси по бетоноводу до высоты 100 мм. После этого смесь, достигнув угла полости, продвигалась в противоположную сторону относительно движения смеси по бетоноводу, сохраняя при этом угол к горизонту равный примерно  $15^\circ$  (рис. 10). В процессе заполнения полости этот угол уменьшался и, достигнув опалубки, составлял примерно  $5^\circ$ . Затем уровень бетонной смеси стал подниматься выше устья бетоновода, сохраняя угол наклона по всей площади заполнения. Достигнув уровня высоты труб (как и в модельных экспериментах), а затем и арматурной сетки, угол наклона поверхности бетонной смеси стал уменьшаться,

непрерывно поднимаясь и сохраняя, все же, минимальный уклон. Соответственно, смесь вначале появилась в контрольном отверстии, находящемся в боковой опалубке в плоскости устья бетоновода. После этого смесь появилась в прозрачной трубке и поднялась на уровень около 25 мм. После появления бетонной смеси в контрольных отверстиях они заглушались. Бетонная смесь подавалась по бетоноводу до тех пор, пока не был достигнут уровень верха опалубки, превышающий уровень верхней плоскости полости – днища на 190-200 мм (более 0,5 высоты полости).



Рис. 10. Продвижение бетонной смеси с уклоном в  $15^{\circ}$

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. В результате осмотра стыка бетона с металлом зазоров обнаружено не было, что еще раз подтверждает правомерность применения разработанной технологии с отсутствием при этом усадочных деформаций.

По окончании эксперимента на основании полученных фотоснимков была построена исполнительная схема движения смеси в полости (рис. 11).

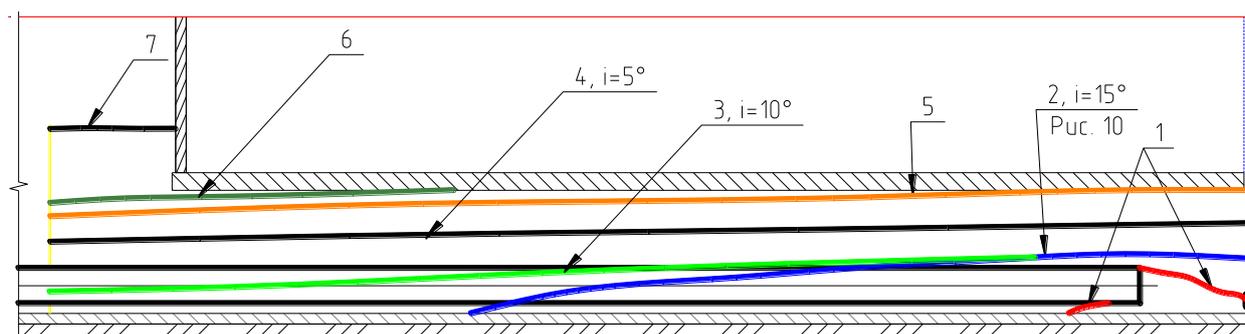


Рис. 11 Исполнительная схема движения бетонной смеси в полости: 1...7 Этапы продвижения смеси.

**4. Практически подтверждены рациональные технологические параметры режимов бетонирования полостей под промышленным оборудованием с применением бетононасоса, обеспечивающие качественное заполнение полостей за один этап высотой 150-350 мм, 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.**

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований, а также результатов натурных экспериментов была определена область рациональных параметров (табл. 5) производства работ по новой нагнетательной технологии, при которых обеспечивается высокое качество заполнения полости при минимальных затратах труда и высоких темпах работ.

Разработан «Технологический регламент по бетонированию полостей под промышленными аппаратами методом нагнетания», который утвержден 26 ЦНИИ – филиал ОАО «31 ГПИСС» и принят к внедрению этой организацией.

*Таблица 5*

**Рекомендуемые параметры производства бетонирования полостей по нагнетательной технологии**

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Подвижность бетонной смеси, распыл 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	Комбинировано, п. 14,15 табл. 3
6	Величина подпорной стенки	Не менее 0,5 высоты полости
7	Производительность работ	до 20м <sup>3</sup> в час
8	Тип нагнетального устройства	Роторный бетононасос

Следует отметить, что нижний предел высоты полости указан из условий применения стандартных бетоноводов диаметром 100-125 мм, однако при необходимости можно бетонировать полости с меньшей высотой, применяя бетоноводы эллипсоидной формы. Верхний предел высоты указан с учетом бетонирования полости в один этап, при превышении значения в 350 мм бетонирование целесообразно производить в два этапа. В толще полости бетоновод устанавливается на прокладки, в результате чего образуется зазор, который 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 30-80 м<sup>2</sup> и имеющих в своем составе технологические прокладки минимально необходимо 4 подающих органа, применение большего количества бетоноводов нецелесообразно.

В процессе апробации разработанной технологии было обосновано применение схемы контроля заполнения смесью полости (см. рис. 9). В зазор между опалубкой и корпусом устанавливаются элементы контроля и измерения: лазерный дальномер, видеокамера и зеркало. При достижении бетонной смесью

днища аппарата, дальномер «считывает» продвижение 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.

Выполненный расчет технико-экономического эффекта и установил, что работы по бетонированию полостей под промышленным оборудованием, выполненные согласно предложенной нагнетательной технологии в стоимостном выражении экономически выгоднее до 7 % по сравнению с технологией с применением дополнительной вибрации на смесь подливочного состава. Это достигнуто за счёт снижения трудозатрат до 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.

### **Общие 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.

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

4. Определен параметр  $K_n$ , 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 многократных 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. Результатами выполненных производственных экспериментов подтверждена возможность проведения работ по новой разработанной технологии с применением бетононасоса, подающего СУБС в полость, имеющую в своем объеме 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 до 63 %.

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

### **III ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:**

**публикации в периодических научных изданиях, рекомендованных  
ВАК РФ:**

1. **Малинкин, А.С.** Совершенствование технологии бетонирования полостей под днищами промышленных аппаратов [Текст] / В.В. Верстов, С.Н. Панарин, А.С. Малинкин // Монтажные и специальные работы в строительстве.— М: ОАО «Корпорация «Монтажспецстрой»», 2013. — №8. – С.2–5 (0,5/0,17 п. л.).

2. **Малинкин, А.С.** Особенности технологии бетонирования полостей под днищами промышленных аппаратов. Классификация полостей [Текст] / А.С. Малинкин // Вестник гражданских инженеров. – СПбГАСУ. – 2014. – №6(№47) — С. 145–149 (0,63 п. л.).

3. **Малинкин, А.С.** Технологии бетонирования полостей под днищами промышленных аппаратов методом нагнетания [Текст] / А.С. Малинкин, С.Н. Панарин // Вестник гражданских инженеров. – СПбГАСУ. – 2015. – №1(№48) — С. 107–114 (0,88/0,44 п. л.).

4. **Малинкин, А.С.** Основные особенности технологии бетонирования полости под промышленным оборудованием методом нагнетания [электронный ресурс] / Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-18212> (дата обращения: 20.03.2015) (1,0 п. л.).

**В прочих изданиях:**

5. **Малинкин, А.С.** Способ бесподкладочного монтажа оборудования [Текст] / С.Н. Панарин, 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 (0,3/0,15 п. л.).

6. **Малинкин, А.С.** Состояние технологических решений бетонирования закрытых полостей под энергетическими аппаратами. Цели и задачи исследования [Текст] / А.С. Малинкин // Актуальные проблемы современного строительства: II Международный конгресс. – СПб: СПбГАСУ, 2013. – С.265 –267 (0,2 п. л.).

7. **Малинкин, А.С.** Моделирование технологических процессов бетонирования закрытых полостей [Текст] / А.С. Малинкин // Актуальные проблемы современного строительства: III Международный конгресс. – СПб: СПбГАСУ, 2014. – Ч1.С.239–242 (0,3 п. л.).
8. **Малинкин, А.С.** Тенденции развития технологии заполнения полостей под крупногабаритным промышленным оборудованием [Текст] / 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 (0,58/0,29 п. л.).

Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 2015. Формат 60x84 1/16. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,5. Тираж 120 экз. Зак. .

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4.

Отпечатано на ризографе. 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 5