

Южаков Иван Викторович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
НЕПРЕРЫВНОГО ЭЛЕКТРОРАЗОГРЕВА
БЕТОННОЙ СМЕСИ**

05.23.08 – Технология и организация строительства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В решениях правительства РФ поставлена задача повышения конкурентоспособности отечественной экономики, что, несомненно, относится и к строительной отрасли. Наметившаяся на сегодняшний день тенденция к интенсификации технологии бетонных работ путем использования в заводских и построечных условиях оборудования непрерывного действия – смесителей, ленточных транспортеров, комплексов автобетоносмесителей, реализующих непрерывную доставку бетонной смеси на объект и, наконец, всевозможные бетононасосы ставят в ряд актуальных задач создания надежного и работоспособного устройства для непрерывного электроразогрева подаваемой на укладку бетонной смеси. Однако, сложившаяся на сегодняшний день технология электроразогрева и применяемое оборудование не позволяют решить эту практическую задачу в полном объеме из-за нерешенности ряда вопросов, связанных с надежностью работы самих устройств для непрерывного электроразогрева бетонной смеси.

Предпринимавшиеся ранее попытки решить вопросы надежности работы на основе существующих представлений о причинах локального перегрева смеси и электродов в устройствах непрерывного действия к сколько-нибудь значительному успеху не привели. И в настоящее время все достоинства существующей технологии непрерывной укладки бетонной смеси бетононасосами нивелируются длительной последующей термообработкой бетона в конструкции.

Настоящие исследования выполнялись в 2004-2008г. и связаны с циклом работ по проблемам совершенствования зимнего бетонирования с предварительным электроразогревом бетонной смеси, являются развитием и продолжением исследований проводимых в СПбГАСУ, ВладГУ, НИИЖБ, СибГИУ, АлтГТУ, ТГАСУ.

Объектом исследования - является технология непрерывного электроразогрева бетонной смеси в зимних условиях.

Предметом исследования – является процесс формиро-

вания электрических и температурных полей в межэлектродном пространстве устройств для непрерывного электроразогрева бетонной смеси.

Цель работы - усовершенствование технологии непрерывного электроразогрева бетонной смеси на основе создания оборудования, обеспечивающего отсутствие локального перегрева смеси в электродной камере.

Задачи исследования:

1. - провести анализ результатов разработки и эксплуатации известных устройств для непрерывного электроразогрева бетонной смеси, в том числе коаксиальных.

2. - провести численное моделирование электрических и тепловых полей в устройствах для непрерывного электроразогрева бетонной смеси;

3. - разработать устройство для непрерывного электроразогрева бетонной смеси с отсутствием локального перегрева смеси в электродной камере;

4.- провести лабораторные испытания разработанного устройства для непрерывного электроразогрева смеси и дать рекомендации по конструированию и использованию подобных устройств в технологии зимнего бетонирования.

Основная идея работы заключается в оптимизации геометрии коаксиальной электродной камеры для непрерывного разогрева бетонной смеси с целью исключения явления локального перегрева смеси и электродов.

Научная новизна работы:

1. Установлено, что для отсутствия зон локального перегрева бетонной смеси в коаксиальном устройстве для непрерывного электроразогрева подачу бетонной смеси в межэлектродное пространство и выпуск следует осуществлять под прямым углом к продольной оси устройства, а торцы внутреннего и внешнего электродов заглубить в электроизоляционные элементы.

2. Установлено, что для обеспечения отсутствия зон локального перегрева бетонной смеси в месте сопряжения внутреннего электрода и электроизоляционного элемента поверхность электроизоляционного элемента в любом его

поперечном сечении должна быть образована радиусом из продольной оси коаксиала.

3. Экспериментально установлено, что при электро-разогреве бетонной смеси в устройстве предложенной геометрии явление локального перегрева бетонной смеси и электродов отсутствует.

Практическая значимость:

1. Разработано, изготовлено и испытано в лабораторных условиях устройство для непрерывного электроразогрева бетонной смеси с отсутствием мест локального перегрева бетонной смеси и электродов.

2. Получены визуализированные результаты расчета электрических и тепловых полей в известных и предлагаемых устройствах для непрерывного электроразогрева бетонной смеси.

3. Обоснованы рекомендации по конструированию устройств для непрерывного электроразогрева бетонной смеси позволяющие исключить локальный перегрев бетонной смеси и электродов.

Реализация работы:

1. В инжиниринговой компании ООО «СМР» г. Барнаул при изготовлении полупроизводственной установки для непрерывного электроразогрева бетонной смеси;

2. При разработке проекта «Рекомендаций по конструированию устройств для непрерывного электроразогрева бетонной смеси»;

3. При чтении лекций и подготовке дипломных работ инженеров по курсу «Особенности зимнего бетонирования» для студентов строительного факультета АлтГТУ.

На защиту выносятся:

- разработанное устройство для непрерывного электроразогрева бетонной смеси и его элементы, в совместном действии обеспечивающие отсутствие мест локального перегрева бетонной смеси и электродов.

- экспериментально установленный факт, что при электроразогреве бетонной смеси в устройстве предложенной геометрии явление локального перегрева бетонной смеси и электродов отсутствует.

- полученные визуализированные результаты численного моделирования электрических и тепловых полей в устройствах для непрерывного электроразогрева бетонной смеси.

Достоверность результатов обеспечена: использованием поверенных и метрологических аттестованных приборов в качестве эталонных; градуированной по ним приборов и термопар в производственных экспериментах; использованием метода сведения энергетического баланса в лабораторных экспериментах; статистической обработкой полученных результатов.

Личный вклад автора состоит в разработке и изготовлении лабораторной экспериментальной установки, проведении численных экспериментов, изготовлении и непосредственном участии в проведении экспериментальных исследований предлагаемого устройства для непрерывного электроразогрева, обработке результатов и разработке практических рекомендаций.

Апробация исследований. Основные положения диссертационной работы докладывались и получили одобрения на 63 и 65-ой научно-технических конференциях НГАСУ, АлтГТУ и на расширенном научно-техническом семинаре кафедр ТиМС АлтГТУ и ТСП ТГАСУ в 2009 г.

Публикации: Результаты исследований и основные научные положения диссертации опубликованы в 5 печатных работах, из них одна в журнале «Вестник ТГАСУ», включенном в перечень ВАК. Получен один патент на способ №2342248 от 27.12.2008 «Способ защиты электродов при электроразогреве бетонной смеси» и один патент на полезную модель №77571 от 27.10.2008 «Устройство для электроизоляции фазных трубчатых электродов».

Структура и объем работы; Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, включает 163 стр. текста, содержит 25 табл., 83 рисунка и 5 приложений. Список использованной литературы включает 99 наименований отечественных и зарубежных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель диссертационной работы и научная новизна, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе (*Состояние вопроса в технологии непрерывного электроразогрева бетонной смеси*) приведен анализ состояния основных вопросов повышения эффективности процесса непрерывного электроразогрева поставленных практикой. Большой вклад в разработку научных представлений о проектировании и работе ЭРУ непрерывного нагрева внесли отечественные ученые А.С. Арбеньев, Б.А. Крылов, С.Г. Головнёв, А.И. Гныря, Л.М. Колчеданчев, Н.Ф. Афанасьев, Д.С. Михановский, Н.Г. Пшонкин и др.

На современном этапе развития метода предварительного электроразогрева бетонной смеси (ПЭРБС) известно по патентным и литературным описаниям более 250 всевозможных электроразогревающих устройств - ЭРУ циклического и непрерывного действия, на которые получены авторские свидетельства и патенты, причем технологически приемлемая продолжительность эксплуатации циклических устройств составляет 20-25 циклов разогрева. После этого из-за обрастания электродов цементным камнем и бетоном скорость нагрева смеси снижается до 2-3°С/мин, что технологически неприемлемо. Аналогичная ситуация - перегрев электродов, обрастание их цементным камнем, последующее токоотключение наблюдается и в ЭРУ непрерывного действия. Из этого следует, что основная причина, сдерживающая широкое распространение прогрессивной технологии - неприемлемо низкая технологичность ЭРУ как циклического, так и непрерывного действия. Сотрудниками научной школы профессора А.И. Гныри в результате длительной серии отсеивающих, инженерных и научных экспериментов и сопутствующих теоретических исследований было установлено, что первопричиной всех негативных явлений, обуславливающих высокую неравномерность температурных полей, локальный перегрев смеси и электродов и их обрастание бетоном является

известный из электростатики краевой эффект. Суть его заключается в том, что в области рёбер и краев фазных электродов напряженность электрического поля E в десятки раз больше, чем в среднем по плоскости электрода. Это приводит к быстрому нагреву смеси в этой области до 100 градусов за 3-4 мин., последующему прогреву металла электрода до температуры кипения по всей его плоскости и быстрому обрастанию бетоном со всеми отрицательными последствиями.

В настоящее время отсутствуют действенные рекомендации по конструированию ЭРУ непрерывного действия, учитывающие краевой эффект и исключаяющие явление локального перегрева, что является необходимым условием создания эффективно работающих ЭРУ непрерывного действия.

На основе анализа данных, полученных из технической и патентной литературы, сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе (*Исследование электрических и тепловых полей в известных устройствах для непрерывного электроразогрева смеси (УНЭРС) методом численного эксперимента*) обосновывается возможность использования программного комплекса ELCUT 5.1 в научных и производственных целях, что не допустимо без сравнения результатов его расчета и реальных экспериментальных данных.

Эксперименты проводились с целью доказательства возможности адекватности использования ПК ELCUT 5.1 для расчета полей растекания тока, температур и тепловыделений в технологии электроразогрева бетонной смеси. Для этой цели было изготовлено устройство для нагрева цементно-песчанного раствора состава 1:1 с водоцементным отношением В/Ц=0,35. Устройство представляло собой корпус из пенополистирола с размерами 60x100x160мм, в который с одной стороны вставлен плоский нулевой латунный электрод с размерами 60x100мм, а фазный электрод выполняется в двух вариантах. Первый вариант электрода из стали Ст.3 толщиной 18мм, а второй из листовой латуни толщиной 0,5мм коробчатого сечения с наполнителем из дерева. Два варианта фазного электрода были сделаны для оценки фактора отвода тепла в электрод на картину

теплового поля в нагреваемой смеси.

Для измерения температуры использовались ХК электроизолированные термопары в количестве 12 штук. Термопары подсоединялись к индикаторам температуры ИТ-6 и через адаптер сети PCA-01 с помощью интерфейса RS-232 к персональному компьютеру, где с помощью соответствующей прикладной программы их показания записывались с интервалом в одну секунду.

Анализ кинетики роста температуры в характерных точках, картин распределения изотерм во времени позволил сделать вывод о том, что по ПК ELCUT 5.1 дает адекватную реально протекающему процессу математическую модель, которая путем визуализации в цвете результатов расчета позволяет изучать электрические и тепловые процессы, протекающие во времени в лабораторном и в любых других устройствах, предназначенных для этого. С помощью программы ELCUT 5.1 было проведено численное моделирование электрических и тепловых полей в межэлектродном объеме наиболее известных по литературным источникам ЭРУ непрерывного действия, которые прошли проверку на производстве и имеют отзывы о работоспособности. Результаты численного эксперимента представлены в виде визуализированных полей и соответствующих графиков, электрических и тепловых полей по определенным направлениям в межэлектродном объеме. В результате был сделан вывод о том, что все без исключения полученные результаты показывают наличие зон перегрева смеси по краям ребер и торцов фазных электродов у обследованных ЭРУ, вследствие чего они быстро теряют работоспособность или требуют неоправданно много трудозатрат на поддержание минимально приемлемого уровня работоспособности.

В третьей главе *(Разработка устройства для непрерывного электроразогрева бетонной смеси с равномерными электрическими и тепловыми полями)* проводится анализ известных ЭРУ непрерывного действия и на этой основе предлагается геометрия устройства для непрерывного электроразогрева бетонной смеси с

равномерными электрическими и тепловыми полями.

Методикой для создания нового технического решения, а именно создания ЭРУ непрерывного действия у которого бы не происходило бы обрастание фазных электродов цементным камнем, была выбрана методика морфологического анализа и синтеза. Морфологический метод основан на комбинаторике. Суть его состоит в том, что в интересующем изделии или объекте выделяют группу основных конструктивных или других признаков. Для каждого признака выбирают альтернативные варианты, т. е. возможные варианты его исполнения или реализации. Комбинируя их между собой, можно получить множество различных решений, в том числе представляющих практический интерес. Основой метода является составляемая на основе патентных проработок и экспертных оценок морфологическая таблица.

Найденное таким методом техническое решение рядом перечисленных способов реализует все функции ЭРУ непрерывного действия:

1. Форма и конструкция электродной камеры в виде «труба в трубе» устойчива к вибрации, закрытая герметичная форма поперечного сечения позволяет дополнить разогрев воздействием на смесь избыточного давления и пара, наилучшее сечение для транспортировки смеси.

2. Размещение фазного электрода в камере. Нулевой электрод в данном случае является стенкой камеры и согласно пункту 1 они выполнены в виде трубы, что удешевляет и упрощает устройство для электроразогрева с позиции изготовления.

3. Форма и конструкция электродов выбрана кольцевой, так как это единственное сечение электрода, где распределение зарядов является равномерным по всему периметру, что позволяет достичь наибольшей равномерности температурных полей внутри камеры разогрева.

4. Способ перемещения смеси за счет гравитации и вибрации позволяет использовать вибрацию не только как активацию смеси, но и как средство ее транспортирования.

5. Способ устранения обрастания электродов бетоном реализуется через конструктивное мероприятие, посредством

которого заделка торцов в электроизолятор является единственным способом устранения проявления краевого эффекта на ребрах фазных электродов при котором нет зон перегрева смеси и не требуется дополнительных трудовых затрат на очистку ЭРУ непрерывного действия в процессе его эксплуатации.

6. Способ подачи смеси в электродную камеру осуществляется через подачу её с боку через нулевой электрод, который является, в принятом техническом решении, наружной частью корпуса конструкции ЭРУ. Такой способ обеспечивает контакт бетонной смеси с нулевым наружным электродом, возле которого напряженность электрического поля гораздо меньшая и не приводит к локальному перегреву смеси.

7. Способ управления производительностью и температурой разогрева для данного технического решения выбран ручной. При массовом применении технического решения возможен любой способ управления производительностью и выбор его основан в рамках конкретной технологии использования ЭРУ непрерывного действия. Для полупроизводственной установка в контексте лабораторного эксперимента нами был выбран ручной способ регулирования температуру и производительности.

8. При разогреве больших объемов бетонной смеси равномерность загрузки фаз трехфазного тока достигается путем объединения трех подобных устройств в одно.

В четвертой главе (*Исследование электрических и тепловых полей в УНЭРС предложенной конструкции*) рассматривался вопрос об исследовании электрических и тепловых полей в устройстве для непрерывного электроразогрева смеси предложенной геометрии. Проводились численные эксперименты с различной конфигурацией электроизоляционного элемента, лабораторные эксперименты и полупроизводственные в устройстве, реализующем запатентованные конструктивно-технологические решения и изготовленном в заводских условиях ООО «СМР».

Первый численный эксперимент оценки наличия мест локального перегрева в ЭРУ непрерывного действия предложенной конструкции (патент РФ № 2342248) “Способ

защиты электродов при электроразогреве бетонной смеси” проводился с помощью программного комплекса ELCUT 5.1. На рисунке 1 представлен общий вид исследуемого устройства.



Рис. 1. Схема исследуемого ЭРУ непрерывного действия

Так как данный программный комплекс способен решать только стационарные задачи, то и в нашем эксперименте электрические и тепловые поля в ЭРУ непрерывного действия рассматривались в стационарном режиме, то есть когда смесь в межэлектродном объеме находится в покое, а сам расчет производился для величины расчетного значения удельного сопротивления смеси. Тем самым моделировалось (путем замены линейной координаты временной) движение смеси в ЭРУ. В рамках данного эксперимента решалась задача исследования межэлектродного пространства ЭРУ непрерывного действия посредством качественного и количественного анализа наиболее характерных продольных и поперечных сечений визуализированных параметров электрического и теплового полей. По этим сечениям были рассчитаны, как электрические параметры поля: распределение потенциалов, напряженности, плотности тока, удельного тепловыделения (U , E , J , W); так и тепловые параметры поля:

температуры, градиенты температуры и тепловые потоки (t , G_m , F). Анализ результатов расчета электрических (U , E , J , W) полей и связанных с ними тепловых (t , G_m , F) полей показал, что использование “Способа защиты электродов при электроразогреве бетонной смеси” при такой геометрии электродной камеры возможно, однако при детальном рассмотрении электрических и тепловых полей наблюдается некоторая неравномерность рядом с электроизолятором.

В результате анализа мест локализации очагов неравномерности электрических и тепловых полей в межэлектродном объеме нами была предложена усовершенствованная геометрия электроизоляционного элемента, исключающая возможность неравномерных полей рядом с электроизолятором. На рисунке 2 в сечениях 1-1 и 2-2 показана суть изменения: в любом поперечном сечении электроизоляционного элемента образующей линией его поверхности служит радиус из продольной оси коаксиала.

Второй численный эксперимент оценки наличия мест локального перегрева в ЭРУ непрерывного действия проводился так же с помощью программного комплекса ELCUT 5.1. На рисунке 2 представлен продольный разрез исследуемого устройства, на которое получен патент на полезную модель от 28.07.08 за № 77571 “Устройство для электроизоляции фазных трубчатых электродов”.

Расчеты электрических (U , E , J , W) полей и связанных с ними тепловых (t , G_m , F) полей показали, что при такой геометрии электродной камеры проявлений краевого эффекта нет и нет мест локального перегрева бетонной смеси и электродов.

Для подтверждения выводов сделанных после численного эксперимента для ЭРУ непрерывного действия представленного на рис. 2 был проведен лабораторный эксперимент. Для этого было изготовлено ЭРУ непрерывного действия, в котором были установлены электроизоляционные элементы на входе и выходе бетонной смеси из электродной камеры. Чтобы убедиться в правильности предложенного устройства (патент на полезную модель от 28.07.08 за № 77571) на входе электроизоляционный элемент был закругленной, но произвольной формы, а на выходе – предложенной геометрии,

представленной на рисунке 2 в нижнем конце электродной камеры ЭРУ. Лабораторный эксперимент с разогревом бетонной смеси в ЭРУ непрерывного действия для упрощения экспериментальной проверки и ее адекватного соотношения с полученными расчетными параметрами производился в циклическом режиме, а не в непрерывном. В процессе эксперимента производился замер температуры с помощью ХК термопар, установленных на внутренней стороне трубы фазного электрода в указанных на рисунке 2. местах. Термопара № 0 подсоединялась к тестеру, а термопары с 1 по 12 подсоединялись к измерительным приборам ИТ-6 и через блок сопряжения к компьютеру. Опрос термопар производился с 5-ти секундным интервалом.

Для оценки соотношения температуры на внутренней стороне фазного электрода и температуры бетонной смеси в межэлектродном объеме, предварительно был произведен электроразогрев той же смеси в таком же коаксиальном устройстве (с теми же диаметрами), но высотой 0.2м. Характер распределения температур показывает, что измеренная с внешней и внутренней стороны фазного электрода температура отличается на 4-5 °С. Измеренная таким образом температура более достоверная, так как измерительные датчики не искажают естественное строение электрического и всех остальных полей. Полученная в эксперименте температура в этих точках должна сравниваться со значениями, полученными в результате расчетов по программе ELCUT 5.1. График на рисунке 3 дает результат экспериментальных замеров температуры по точкам, указанным на рисунке 2. На рисунке 4 дан общий вид установки в процессе экспериментов. Поскольку термопары с 1 по 12 находились в нижней части ЭРУ, то их показания или практически равны теоретическим (расчетным – график NT 1), или ниже, особенно точки 10,11,12. Это объясняется формой электроизоляционного элемента по патенту № 77571, который исключает проявление краевого эффекта. Но в верхнем сечении 1-1, где была установлена термопара № 0, и где электроизоляционный элемент был выполнен закругленной, но произвольной формы, наблюдалось проявление краевого эффекта со всеми сопутствующими признаками, т.е. быстрый

рост температуры смеси и начало приэлектродного кипения в сечении 1-1 на момент времени 10 мин. 45 сек.

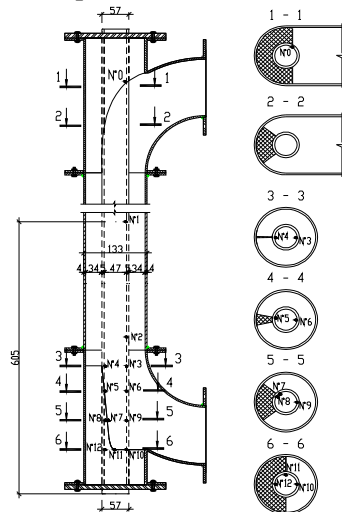


Рис. 2. Сечения и положение точек измерения температуры

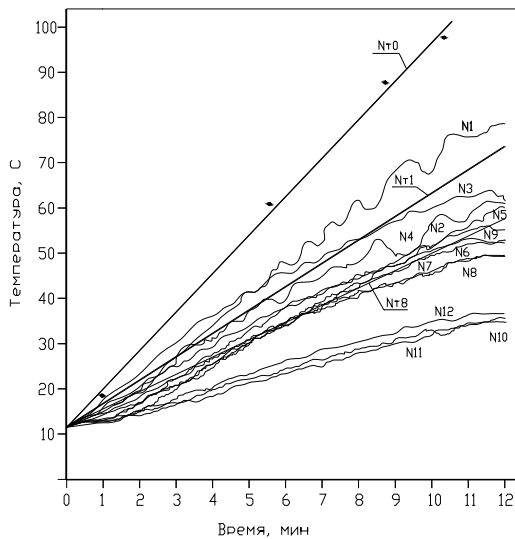


Рис. 3. Результат экспериментальных замеров температуры по точкам, указанным на рис. 2



Рис. 4. Общий вид установки в процессе эксперимента

Эти впервые полученные результаты эксперимента позволяют сделать вывод о том, что использование коаксиальной электродной камеры для непрерывного разогрева смеси с подачей и выпуском смеси под прямым углом к продольной оси совместно с торцевыми электроизоляционными элементами предложенной геометрии обеспечивают в совместном действии отсутствие мест локального перегрева смеси и электродов, что является необходимой исходной предпосылкой для создания работоспособной технологии непрерывного электроразогрева бетонной смеси.

В пятой главе (*Исследование технологических особенностей зимнего бетонирования с использованием УНЭРС предлагаемой конструкции и оценка их экономической эффективности*) рассмотрены вопросы технологических особенностей зимнего бетонирования с использованием УНЭРС предлагаемой конструкции. Произведен расчет технологических параметров бетонирования с непрерывным предварительным электроразогревом бетонной смеси наиболее ответственной и часто встречающейся части монолитного каркаса многоэтажного здания – монолитной плиты перекрытия. В настоящее время все достоинства существующей технологии непрерывного бетонирования с применением бетононасосов

обесцениваются весьма длительной (продолжительностью до 4-5 суток), малоэффективной и дорогостоящей последующей термообработкой бетона в конструкции. Произведен расчет времени остывания и набираемой при этом прочности бетона по двум альтернативным методикам проф. Зубкова В.И. и проф. Арбеньева А.С. и разработана технологическая карта на процесс непрерывной укладки с непрерывным электроразогревом бетонной смеси в опалубку монолитного перекрытия. Способ непрерывного бетонирования с разогревом до 80 °С и с той же температурой укладки, что возможно только при непрерывном совмещенном процессе разогрева и укладки, позволяет за трое суток получить прочность бетона близкую к 100% от R_{28} или за сутки 70% от R_{28} . При использовании известных технологических приемов (поддержка перекрытия с 70% от R_{28} инвентарными стойками на 3-4 изготовленных этажах) возможно организовать возведение монолитного каркаса (колонны и плиты) с ежедневной укладкой бетонной смеси по захваткам. При этом производительность бетонных работ в целом может приблизиться к технической производительности бетононасоса - ведущего механизма по процессу укладки бетонной смеси, что является главным следствием проведенного исследования.

Технологическая карта бетонирования перекрытия

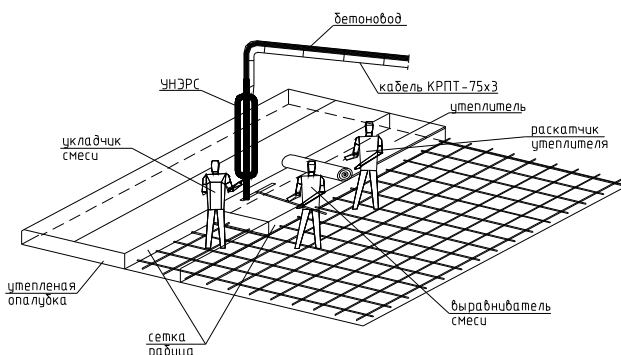


Рис. 5. Технология бетонирования перекрытия с применением трехфазного УНЭРС

Эффективность предлагаемых технологических решений

подтверждена расчетом технико-экономических показателей на примере вариантов бетонирования фундаментной плиты, колонны и плиты перекрытия. Сравнивались три способа зимнего бетонирования:

- 1) бетонирование с противоморозными добавками;
- 2) бетонирование с помощью электропрогрева (греющим проводом);
- 3) бетонирование с помощью предлагаемого непрерывного предварительного электроразогрева;

Расчет производился «методом на разность», то есть учитывались только дополнительные затраты связанные с особенностями метода бетонирования. Расчетные температуры наружного воздуха принимались -10, -20, -30°C.

В результате анализа затрат по сравниваемым вариантам обоснованно преимущество предлагаемой технологии зимнего бетонирования.

Основные результаты и выводы

1. Разработана геометрия устройства для непрерывного электроразогрева бетонной смеси и его элементов, в совместном действии обеспечивающих отсутствие мест локального перегрева бетонной смеси и электродов в межэлектродном объеме по направлению движения смеси. Получен патент на способ №2342248 от 27.12.2008 «Способ защиты электродов при электроразогреве бетонной смеси»

2. Разработано устройство для электроизоляции фазных трубчатых электродов исключающее наличие зон локального перегрева бетонной смеси в месте сопряжения внутреннего электрода и электроизоляционного элемента. Получен патент на полезную модель № 77571 от 27.10.2008 «Устройство для электроизоляции фазных трубчатых электродов».

3. Экспериментально установлен факт отсутствия явления локального перегрева бетонной смеси и электродов при электроразогреве бетонной смеси в устройстве предложенной геометрии.

4. Установлена возможность адекватного использования пакета прикладных программ «ELCUT 5.1» для численного

моделирования электрических и тепловых полей в устройствах для электроразогрева бетонной смеси.

5. Получены визуализированные результаты моделирования электрических и тепловых полей в устройствах для электроразогрева бетонной смеси.

6. Наибольший эффект от использования предварительного электроразогрева бетонной смеси в установках непрерывного действия наблюдается при бетонировании: среднемодульных конструкций; конструкции с высокой критической прочностью и при сжатых сроках строительства.

7. Производительность бетонных работ с использованием установок непрерывного действия для предварительного электроразогрева бетонной смеси может приблизиться к технической производительности бетононасоса - ведущего механизма по процессу укладки бетонной смеси.

Основные публикации по теме диссертации

1. **Южаков, И.В.** Методика определения электротепловых полей в системе “Электрод – бетонная смесь” /А.И. Гныря, В.И. Курец, М.М. Титов, **И.В. Южаков** // Вестник ТГАСУ, 2008.- №1.-С.141-145. (вклад автора 70%)

2. **Южаков, И.В.** Совершенствование оборудования для предварительного электроразогрева бетонной смеси /М.М. Титов, В.А. Власов, А.В. Рязанов, **И.В. Южаков**// Проектирование и строительство в Сибири, 2007.-№1.-С.32-36.

3. **Южаков, И.В.** Электрофизические основы явления перегрева фазных электродов /**И.В. Южаков**, М.М. Титов// Тезисы докладов Всероссийской конференции “Актуальные проблемы строительной отрасли”. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2008. - С.144-145.

4. Патент РФ № 2342248, МКП В 28 В 17/02. Способ защиты электродов при электроразогреве бетонной смеси / **И.В. Южаков**, М.М. Титов. - Оpubл. в БИ 36 от 27.12.08.

5. Патент на полезную модель РФ №77571, МКП В26В 17/02. Устройство для электроизоляции фазных трубчатых электродов / **И.В. Южаков**, М.М. Титов, С.А. Кулигин. – Оpubл. в БИ 30 от 27.10.08.