

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленное, гражданское строительство и городское
хозяйство»

(наименование кафедры)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Технология строительного производства»

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Совершенствование технологических процессов механизации
бетонных работ»

Студент

А.А. Иброхимов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

А.М. Чупайда

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы

д.э.н., к.т.н., профессор, А.А. Руденко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 20 г

Допустить к защите

Заведующий кафедрой ПГСигХ

к.т.н., доцент, Д.С. Тошин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 2018 г.

Тольятти 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Теоретические аспекты механизации бетонных работ	6
1.1 Технологические особенности производства бетонных работ	6
1.2 Анализ методов ускорения твердения бетона.....	10
1.3 Анализ конструкции опалубок применяемых при проведении бетонных работ	16
2. Исследование процессов механизации бетонных работ на основе тепловой обработки бетона.....	33
2.1 Анализ и исследование процессов тепловой обработки бетона	33
2.2 Исследование конструктивно–технологических аспектов применения термоактивной опалубки.	36
3. Разработка технологических и технических решений по применению термоактивной опалубки	49
3.1 Предложение по конструктивному устройству термоактивной опалубки.....	49
3.2 Предложения по технологии производства работ с применением термоактивной опалубки	57
3.3 Оценка эффективности предлагаемых мероприятий	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	75
ПРИЛОЖЕНИЯ	80

ВВЕДЕНИЕ

Формирование отрасли строительства в России на нынешнем этапе требует уменьшения себестоимости, урезания сроков инвестиций. Лучшим решением данных задач считается внедрение современных технологий механизации бетонных работ. Такое домостроение и его эффективность, как с экономической, так и с технологической точек зрения, привели к сокращению периода возведения жилых и общественных зданий.

Необходимость сокращения себестоимости, снижения сроков и объемов работ требует пониженной трудоемкости работ, а также их повышенного качества и улучшенных условий труда. Отличным решением данной проблемы является использование оптимальных способов укладки бетона, которые помогли бы ускорить затвердение бетона. По анализу способов ускорения твердения можно узнать, какой из них самый лучший, отвечают ли они установленным методам: высшие темпы исполнения работы, пониженные затраты энергоресурсов, экологическая безопасность. Данным критериям наилучшим образом отвечает способ тепловой обработки бетона с применением термоактивной опалубки. Положительными чертами тепловой обработки бетона данным способом являются стабильность технологического процесса и возможность его автоматизации. Совершенствование процессов обработки бетонных смесей в нагреваемых опалубках возможно посредством поддержания управляемых параметров термообработки, что позволит снизить энергозатраты и достичь высокого качества и надежности работ.

Выбор метода ускорения твердения бетона всегда являлся наиболее сложным вопросом при организации бетонных работ. Зимние климатические условия в России, температура в некоторых регионах в январе достигает ниже отметки минус тридцати пяти градусов, обуславливают повышенную стоимость и трудоемкость работ, а также их материала и энергоемкость.

Кроме того, в зимний период отмечается рост сроков строительства и потребности в специалистах бетонных работ.

Соответственно, необходимым является выбор наиболее оптимального метода бетонирования.

Актуальность темы исследования заключается в том, что сегодня индустрия строительства в России развивается бурными темпами, появляются все новые и новые строительные объекты, которые в условиях рыночной конкуренции требуют снижения себестоимости, сокращения сроков строительства.

Отсюда следует вывод, что необходимо внедрение в индустрию строительства современных технологий, таких как новые и эффективные конструкции термоактивных опалубок.

Объект исследования - механизация бетонных работ.

Предмет исследования – технологические процессы механизации бетонных работ.

Цель магистерской диссертации: совершенствование технологических процессов механизации бетонных работ.

Задачи исследования:

1. Проанализировать теоретические аспекты механизации бетонных работ.
2. Исследовать процессы механизации бетонных работ на основе тепловой обработки бетона.
3. Разработать технологические и технические решения по применению термоактивных опалубок.

Научная новизна исследования:

1. Дополнена существующая классификация способов монолитного бетонирования.
2. Усовершенствована конструкция термоактивной опалубки.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования материалов главы 3 в практической деятельности строительных организаций при выполнении бетонных работ в зимнее время.

Апробация и достоверность результатов исследования подтверждена приведенными в диссертации теоретическими разработками, практическими рекомендациями, а также публикациями автора.

Результаты ВКР обобщены и опубликованы автором в 3-х научных статьях:

1. Совершенствование технологических процессов механизации бетонных работ/ Иброхимов А.А., Чупайда А.М.// Наука и образование: новое время. – 2017. № 6 (23), с. 25-31.

2. Сравнительный анализ энергозатрат при использовании термоактивной опалубки/ Иброхимов А.А., Чупайда А.М.// Наука и образование: новое время. – 2017. № 6 (23), с. 77-83.

3. Сравнительный анализ современных методов земного бетонирования/ Иброхимов А.А., Крамаренко А.В.// Наука и образование: новое время. – 2017. № 6 (23), с. 64-70.

Структура и объем работы. Магистерская диссертация включает введение, три главы, заключение, список используемых источников из 49 наименований и 2 приложения. Общий объем работы составляет 81 страница машинописного текста.

1 Теоретические аспекты механизации бетонных работ

1.1 Технологические особенности производства бетонных работ

Процесс осуществления бетонных работ включает опалубочные, арматурные, бетонные подпроцессы, а также уход за свежеуложенным бетоном и распалубку предварительно сооружаемых конструкций.

При производстве бетонных работ необходимо учитывать:

- требования к организации непрерывных и поточных процессов возведения опалубки, размещения арматуры, и, непосредственно, бетонных работ с учетом равномерности потребления ресурсов и использования производственных мощностей;
- возможность применения опалубочных щитов и арматуры из готовых каркасов и сеток;
- необходимость максимально возможной механизации технологических процессов с использованием комплектов машин и средств малой механизации с наибольшей экономичностью;
- требования к типовым приспособлениям и инвентарю;
- необходимость соблюдения требований производственной санитарии, пожарной безопасности и общей техники безопасности.

Особенности проведения бетонных работ, прежде всего, связаны со сложностями выполняемых работ и управлением их качеством. Такие особенности делятся на:

- проблемы, которые связаны с огромным разнообразием объемно-планировочных решений возводимых зданий и их конструкций, которые отличаются размерами и конфигурацией;
- огромное разнообразие технологий выполнения работ, которые основываются на разных типах опалубочных систем, способах подачи, укладки и ухода за бетоном;
- большие трудовые и материальные расходы в процессе опалубочных

и бетонных работ, которые выполняются на площадке для строительства, характеризующейся большой долей ручной работы;

- условия, связанные с климатом, которые могут ухудшить производство работ.

К ним относятся: температура и влажность воздуха снаружи, которые влияют на свойства монолитного бетона, а также точность показаний средств для измерения (к примеру, неразрушающих способов контроля прочности бетона), усложнение технологий и увеличение расходов, которые связаны с возведением работ в условиях минусовой температуры.

Эти вопросы являются приоритетными в сфере дальнейшей модернизации строительства, дополнительной целью является уменьшение количества задействованных работников и улучшение качества строительных работ. Различные способы ускорения затвердевания и формирования бетона позволяют проводить строительство в сжатые сроки и сохранять крепость конструкций. Модернизация оборудования, обучение сотрудников работе с машинами позволяет экономить трудовые резервы, уменьшать количество задействованных работников. Постоянно проводятся испытания, направленные на разработку новых и усовершенствование старых способов высушивания бетона, без задействования габаритных машин, и равномерного просыхания металлоконструкций с различным процентом арматуры.

Оптимальным является улучшение уже имеющихся технологических разработок, в том числе модернизация опалубочных работ, строительство с помощью арматуры и с использованием бетона с примесями и химическими реагентами. Как правило, в строительстве используются в основном опалубочные работы, которые занимают около 35-40 процентов всех выполняемых работ при строительстве конструкций монолитного типа[1].

Общая схема выполнения бетонных работ представлена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Схема процесса бетонных работ

Имеет смысл развивать механизмы, которые работают на основании подвижных элементов и съемных механизмов и внедрять в них автоматическое управление[2]. Эффективное использование машин невозможно без приобретения качественных материалов. Проведение опытов и организация вспомогательных работ, которые включают в себя систему очистки палубы, позволяют сдавать сооружения в эксплуатацию своевременно и направлены на работу со щитами между циклами, а также своевременную замену смазок на автоматизированных участках работы.

Для уменьшения количества работников, задействованных при возведении арматурных и бетонных сооружений, необходимо модернизировать механизмы, которые используются в процессе проведения такого вида работ, улучшить уровень владения механизмами и процедуру проведения работ[3].

Рост темпов строительства требует сокращения длительности выполнения бетонных работ, в частности сроков высыхания бетона, ограничивающих скорость возведения зданий даже в летнее время[4, 5]. Например, СНиП Российской Федерации[6] предполагает, что проведение работ можно возобновлять только в том случае, когда бетон достигнет уровня 70-80 процентов от предусмотренной прочности, при этом длительность высыхания может составлять до 8 суток при летней температуре, такие нормы применяются для опалубочных работ, когда бетон выливается горизонтально или под наклоном[7].

Таким образом, для выдерживания сроков строительства необходимо использовать различные способы для быстрого высыхания бетона. С такой целью широко используются специальные химические примеси, которые добавляются в бетонные смеси, позволяющие ему быстрее твердеть, также активным способом является термическая обработка и активация цементной смеси. Для качественного проведения строительных работ рекомендуется использовать комбинированные способы, в зависимости от установленных сроков[8, 9, 10, 11].

Несмотря на то, что данный вопрос неоднократно рассматривался в теории, и проводилось множество практических экспериментов для выработки оптимального способа строительства, вопрос остается открытым[12, 13, 14, 15]. В дальнейшем требуется улучшить технический контроль за выполнением всех требований, которые выдвигаются к строительству монолитного типа, он включает в себя входной контроль используемых материалов, текущий или операционный контроль, а также обязательный контроль уже выполненных работ и возведенных конструкций, который проводится перед сдачей строения в эксплуатацию.

Организация процесса возведения сооружения должна включать в себя комплекс вопросов организационного, технического и технологического характера, главной целью которых является своевременное введение в эксплуатацию строения с выполнением установленных сроков и высокое качество строительства. Для достижения данной цели на каждом объекте необходимо своевременно проводить технологический контроль[16].

1.2 Анализ методов ускорения твердения бетона

Для ускорения твердения бетона можно использовать один из нескольких способов. К ним относится термическая обработка, подготовка с помощью водных растворов, активация процессов затвердения цемента и бетона, использование химических пластификаторов и примесей, вибротермическая обработка[17, 18, 19, 20, 21].

В условиях стройплощадок применяется тепловая обработка, включающая в себя метод термоса, проведение электрофореза, подогрева бетонной и цементной смеси, использования специальных приборов для проведения электроподогрева. Чаще всего для электроподогрева применяется периферийное электрическое устройство и точечный обогрев смеси. Не обходится ускорение твердения бетона без применения химических реагентов.

Использовать метод термоса нужно проведя расчеты эффективности такого метода и затрат, которые необходимы для его проведения. Очень часто строителям приходится отказываться от этого метода из-за его высокой себестоимости и низкой эффективности, ведь для быстрого затвердевания бетона требуется предварительно провести прогрев или добавить в смесь химические ускорители[22, 23].

В семидесятых-девяностых годах наиболее популярным методом был метод, предусматривающий предварительный разогрев бетона[24] и цемента для последующего быстрого затвердевания[25]. Метод требует задействования специального оборудования и высоких затраты на оплату электроэнергии, поэтому на сегодняшний день он практически не используется. Эта процедура существенно влияет на качество проведения строительных работ, так как после разогрева строительной смеси ее нужно очень быстро выложить и не остается достаточно времени для распределения и укладки смеси. Данный метод может применяться не во всех видах строительства, например, после разогрева очень проблематично выложить смесь в опалубку больших размеров, не снизив равномерности ее прогрева[24].

Чаще всего на территории Российской Федерации используется электродный прогрев[25]. Варианты использования данного метода зависят от характеристик бетонной или железобетонной конструкции, к которым относятся габариты, способы крепления электродов для лучшего проникновения электрической энергии в бетонную смесь и качественного прогрева[26]. Однако не всегда возможно использовать электронную прогрев, так как он является экономически невыгодным и сложным с технической точки зрения, также значительно снижает уровень плотности бетона из-за его пересушивания в местах соединения с электродами.

Не всегда удается равномерно распределить электроды по поверхности конструкции и в результате расстояние между ними может колебаться в пределах 10% от первоначально рассчитанного. Также не удается

равномерно прогреть бетон из-за постепенного изменения напряжения, которое поступает на электроды. Как результат может увеличиваться расход цемента для приготовления бетонной смеси. При использовании данного метода в среднем используется на 20-25 кг/м³ больше цемента для замешивания бетонной смеси типа В15 [26].

При использовании данного метода необходимо проводить тепловую защиту опалубки, т.к. в результате нагревания арматуры в ней может возникать растекание частичного тока при ненадлежащей изоляции электродов. Для конструкций с большим количеством арматуры применять данный метод нельзя, в связи с повышенными расходами на приобретение металлоконструкций и цемента.

Расход арматуры может увеличиваться до 2,5-3 кг/м², в сравнении с технологией без электропрогрева, где расход оставляет 0,1-0,15 кг/м².

Более современным методом, является термообработка, которая применяется к бетонной смеси[27,28,29].

Впервые этот способ был применен в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете. Он заключается в предварительном разогреве бетонной смеси перед укладкой в опалубку, применения вибраций и сильного давления. При комбинации определенного уровня вибрации, давления, пара и повышенной температуры бетона удается достигнуть эффекта гидролиза и гидратации смеси, в результате чего бетон очень быстро твердеет, сохраняются его твердость и прочность.

Этот метод в 5-8 раз эффективнее нагревания и позволяет экономить в 1,5-2,5 раза больше электроэнергии по сравнению с термической обработкой. Этот метод можно использовать при температуре атмосферного воздуха до - 20 градусов по Цельсию, но при этом замешивается бетонная смесь без предварительного разогрева. После полного высыхания бетон сохраняет уровень прочности, он морозоустойчив и водонепроницаем[27].

Данный метод может использоваться в стационарном варианте для обработки бетонной смеси в условиях цеха, либо полигона, а также

непосредственно на строительной площадке. Основными параметрами устройства для обработки бетонной смеси является высокая производительность, от 3 до 6 м³/ч мощность - от 150 до 300 кВт, расход электроэнергии до 50 кВт*час/м³, температура возможного прогрева смеси достигает 85 °С[28]. Для того чтобы понять процедуру прогрева бетонной смеси, необходимо изучить механизм проведения термообработки.

Повышение температуры активизирует процессы гидролиза и гидратации цементной смеси, умеренная вибрация позволяет диспергировать зерна в бетонной смеси, уменьшается уровень вязкости воды и она постепенно превращается в пар, высушивая тем самым смесь[28]. Все эти процессы позволяют подсушивать цемент и увеличивают скорость его твердения. Но при условии резкого повышения температуры и постоянного воздействия вибрации в бетоне образуются цементные зерна с более плотной оболочкой.

В процессе резкого превращения воды в пар первый период диффузного процесса гидратации характеризуется образованием рыхлого цемента, который обладает хорошей проницаемостью и поддерживает высокий уровень гидратации. А во втором периоде уплотняются оболочки зерен цемента, степень гидратации замедляется, и процессы твердения бетонной смеси улучшаются[29].

Применение химических реагентов позволяет достигнуть высокого уровня прочности бетонных конструкций и самостоятельно корректировать скорость высыхания в зависимости от поставленных сроков. Добавление химических реагентов в бетонную смесь позволяет сократить срок отвердения бетонной смеси даже при температуре минус 25°С. Однако действуют ограничения по применению добавок для бетонных сооружений и арматуры, поэтому приобретение дорогостоящих добавок не компенсируется скоростью высыхания бетона и строители вынуждены искать другие методы для ускорения твердения бетонной смеси.

Бетон застывает с разной скоростью в разных погодных условиях. Очень важно выбрать эффективный метод для ускорения его твердения в зависимости от сезона. Один метод может быть выгодным как в технологическом, так и в экономическом плане в летний период, тогда как его применение зимой повлечет большие денежные и временные затраты.

Одним из наиболее эффективных методов, который позволяет ускорить процесс застывания бетона, является метод нагревания в термоактивных опалубках. Он применяется в монолитном строительстве, где есть высокий уровень автоматизации и регулировки процесса термообработки бетона.

Данный метод используют для конструкций средних размеров, получаемых по технологии монолитного строительства. Технология обогрева конструкций опалубки начала использоваться российскими строителями при работах с тонкостенными перегородками и создании специальных сооружений, таких как резервуары и градирни. После технология нагревания в термоактивных опалубках была применена на предприятии ООО «Соколоврудстрой». Сотрудники предприятия заметили ряд преимуществ данной технологии. Она сочетала в себе и обогрев и термос, что существенно уменьшило денежные затраты. Работа стала выполняться намного быстрее. После этого на других предприятиях была проверена технология обогрева конструкций в термоопалубке, показатели мощности которой колебались от 1500 до 2000 Вт/м.

Технологические режимы были деликатными и отличались от применяемых режимов при термообработке сборных конструкций [30].

В современном строительстве технология нагревания в термоактивных опалубках используется очень часто. Для нее характерны следующие положительные характеристики:

- нет необходимости в работах с заготовкой и монтажом электродов. Это снижает совокупную трудоемкость строительного процесса;
- формируется плотный и однородный цементный слой;

- высокий уровень энергосбережения. Теплота гидратации максимально используется, а энергия умеренно потребляется;
- данный метод позволяет упростить коммутацию нагревательных устройств. Они получают стабильное питание на протяжении всей термообработки;
- нагрев в термоопалубках облегчает контроль режимов обогрева;
- упрощаются процессы термообработки, разогрева почвы, арматуры и предстоящего бетонного покрытия.

1.3 Анализ конструкции опалубок, применяемых при проведении бетонных работ

Опалубкой называют временную строительную конструкцию, обеспечивающую проектную форму бетонного сооружения. Система опалубки представляет собой специализированный комплект, предусмотренный для многократного применения. Процедуры, связанные с установкой и снятием опалубки являются опалубочными. Опалубка и опалубочные работы должны выполняться в соответствии с требованиями СП 70.13330.2012.

В соответствии с ГОСТ Р 52085 опалубочные конструкции имеют различные типы, которые определяются видом монолитных и сборно-монолитных конструкций, подлежащих бетонированию, а также материалом и конструкцией несущих систем.

Выбор опалубки зависит от различных температурных условий внешней среды, воздействия опалубки на бетон и критерия оборачиваемости. Виды опалубок представлены на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Виды опалубочных систем монолитного типа

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся виды опалубок.

Разборно-переставная: мелкощитовая опалубка (рисунок 1.3).

Данная опалубка включает в себя отдельные элементы, обладающие небольшой массой и размером и предусматривает сборку различных форм и конструкций опалубочной системы. Возможна дополнительная укрупняющая сборка и последующие монтажно-демонтажные работы крупноразмерными панельными и блочными конструкциями.

Данная опалубка предусмотрена для бетонирования конструкций сложных форм, например, для получения поверхностей вертикального и наклонного типов. Мелкощитовую опалубку часто комбинируют с крупнощитовой, когда необходимо забетонировать небольшие, но сложные по форме объекты.



Рисунок 1.3 – Мелкощитовая опалубка

Крупнощитовая опалубка (рисунок 1.4)

Данная опалубка включает щиты крупных размеров с элементами их поддержки, которые принимают на себя технологические нагрузки, а также различные соединительные и закрепительные элементы. Щиты включают подмости - элементы для бетонирования, а также регулировочные и установочные домкраты.

Данная опалубочная система используется при бетонировании крупноразмерных и тяжеловесных конструкций, например, перекрытий и стен.



Рисунок 1.4 – Крупнощитовая опалубка

Подъемно- переставная опалубка (рисунок 1.5)

Включает щиты, отделяемые от бетонируемой поверхности в процессе подъема, а также содержит поддерживающие и крепежные элементы, рабочий пол и различные приспособления для подъема. Данная система предполагает возможность изменения поперечного сечения бетонируемой конструкции при подъеме.

Данная опалубочная система применяется для производства бетонных работ в конструкциях переменного сечения, например, опор мостов и дымоходов.



Рисунок 1.5 – Подъемно-переставная опалубка

Катучая опалубка (рисунок 1.6)

Конструкция данной опалубки представляет собой каркас из соединенных щитов. Передвижение опалубки осуществляется вдоль бетонируемой конструкции с помощью тележек.

Данная опалубка применяется для производства бетонных работ водопроводов, тоннелей, коллекторов.

Скользящая опалубка (рисунок 1.7)

Включает щиты, закрепленные с применением домкратных рам, рабочий пол, подъемное оборудование и др. элементы. Поднятие опалубки осуществляется домкратами. Щит устанавливается на домкратной раме, обычно имеющей конусность (расширение книзу) в пределах 0,005-0,002 высоты щита или 5-7 мм с каждой стороны.

Данная опалубка используется для производства бетонных работ в вертикальном положении.

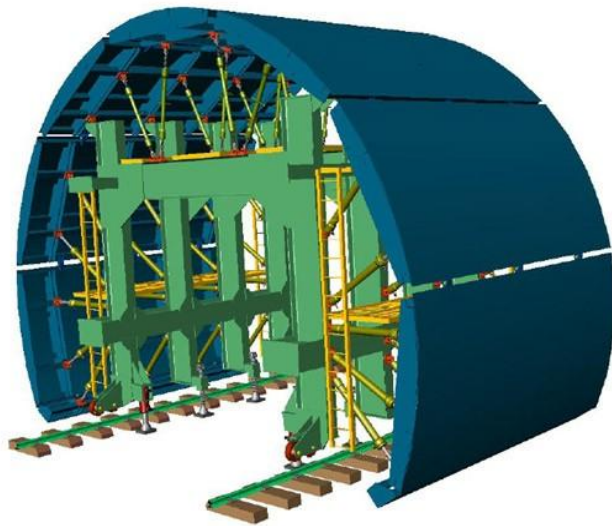


Рисунок 1.6 – Катучая опалубка в горизонтальном направлении

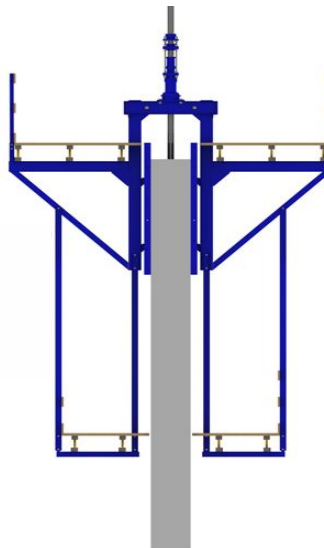


Рисунок 1.7 – Скользящая опалубка

Несъемная опалубка (рисунок 1.8)

Данная опалубка является частью конструкции, после процесса бетонирования не снимается, включает в себя плиты и инвентарные поддерживающие элементы.

Широко применяется для гидроизоляции, утепления, внешнего армирования конструкций.

Отсутствие процесса распалубки является, несомненно, плюсом данной конструкции. В связи с чем, снижается себестоимость выполнения работ,

трудоемкость, появляется возможность механизировать работы. Минусом данной опалубки является ее массивность и высокая теплопроводность.



Рисунок 1.8 – Несъемная опалубка

Отсутствие процесса распалубки является, несомненно, плюсом данной конструкции. В связи с чем, снижается себестоимость выполнения работ, трудоемкость, появляется возможность механизировать работы. Минусом данной опалубки является ее массивность и высокая теплопроводность.

Греющая опалубка

Конструкции греющих опалубок на сегодняшний день довольно разнообразны, зависят в основном от типа греющего элемента. Рассмотрим все основные виды более подробно ниже.

Конструкция термоактивной опалубки с электронагревателями начала активно эксплуатироваться в промышленных масштабах в которые применяются при прогреве стенок градирен из железобетонных материалов [32]. В качестве материала, утепляющего щиты каркасных конструкций, применяют шлаковойлочные маты толщиной 30мм. Роль нагревателя выполняет проволока из нихрома, с сечением от 0,2 мм до 0,5 мм. Навивают ее шагом от 15 мм до 20 мм на сердечник, изготовленный из асбестокартона. Исполнение диэлектрической изоляции осуществляют с применением асбестокартонных шаров, которые крепятся с помощью клея или жидкого стекла на тыльную сторону сердечника. Концы хромовой проволоки

прикрепляются к латунным или медным болтам. Все это присоединено к сердечнику.

Данные болты – это контакты для подключения разводки, выполняющей коммутирующую функцию.

Размер шита стандартной величины составляет 1000x600 мм. Для элементов нагрева, работающих под напряжением 60В, удельная мощность составляет 600 - 800 Вт/м [32]. Аналогичное конструктивное решение применяли в первых моделях термоактивной опалубки разборно-переставного типа, разработанной ЦНИИОМТП. Разработка и применение данной опалубки осуществлялась при обогреве каркасных элементов в процессе возведения сооружения СЭВ в Москве.

Слабая сторона этих нагревателей в том, что они подвергаются процессу окисления. Значительные изменения температуры способствуют тому, что воздухообмен ускоряется, и приток кислорода становится больше. Вместе с тем сильно уменьшается эксплуатационный период службы нагревателей во время периодического охлаждения или уменьшения температуры до 30-35 % ниже максимального значения. Это связано с быстрым уничтожением окислов, у которых коэффициент расширения меньше, чем у металла, а хрупкость, наоборот, выше.

При строительстве автомобильных заводов в Калуге и Волгограде довольно широко применялась опалубка термоактивного типа, сконструированная по схеме А.Д. Агеенкова, В.Д. Топчия, В.В. Шишкина. В данной конструкции нагревательным элементом выступал кабель КСОП с площадью сечения 16 мм [32]. В данной конструкции для нагревательной жилы кабеля применяли изоляцию с использованием пропитанной глифталевым лаком стеклоткани. Для придания наружной оболочке бронезащитных свойств, ее произвели из свинца.

Кабель, выполняющий нагревательную функцию, способен работать в длительном режиме нагрева в пределах 150 градусов. Возможен кратковременный нагрев до 200 градусов. Высокая гибкость и

укладываемость кабеля позволяет распределить его по щиту для устранения у ребер мостиков холода и достижения на палубе равномерности температурных полей. Данный кабель КСОП считают низкотемпературным нагревателем.

Для усовершенствования данного решения произвели совмещение изначального и параллельного способов включения щитов, что позволило получить равномерность нагрузки. Некоторые погрешности в сопротивлениях нагревателя в пределах $\pm 7\%$ не приводят к существенным изменениям температуры. Выявлены сложности управления температурным режимом при нагреве, при дифференцированных параметрах внешней среды, в процессе использования опалубки, например, если часть конструкции защищена, а другая не защищена от ветра.

В конце 60х годов прошлого столетия распространение получила «теплая», выполненная из дерева опалубка, а затем, изготовленная из металла. Множество строительных организаций использовали преимущества термоса при получении бетонных изделий средней массивности. Кроме того, дополнительно применяли метод предварительного разогрева бетонной смеси при изготовлении тонких конструкций. Развивалось направление применения опалубки, имеющей защиту со стороны прочных утеплителей.

Для достижения ускоренных показателей выдержанности бетона с одновременным снижением теплопотерь от бетона в щиты, развивается способ укладки нагревательных элементов в утеплители щитов, где нагреватели имеют низкую мощность (100 – 200 Вт/м). В данный период появляются первые конструкции опалубочных щитов, являющихся промежуточной версией между утепленной и термоактивной опалубкой. Под видом обогревателя успешно использовались разработанные Научно-исследовательским институтом промышленности кабели и провода. Мощность нагревателя рассчитана из требований необходимости возмещения теплопотерь, возникающих в процессе температурного перепада, находящегося в диапазоне 60-65 °С.

В период 70х годов научно-исследовательские организации и конструкторские бюро разработали и внедрили примерно два десятка разных устройств низкотемпературных нагревателей. Большинство представляет собой плоские элементы - различные вкладки с клеммами для последовательного и параллельного соединения друг с другом в щитовых конструкциях. Технологическим достоинством данных решений является высокая степень однородности температурных полей и возможность ускоренной замены изделий при поломках и необходимости ремонта.

Значительная часть конструктивных решений термовкладышей основана на применении линейных проводников с плоским или круглым сечением. Проводники между собой разделены с помощью диэлектрической пары, имеющей достаточно высокую теплопроводность. В таком решении обеспечивается значительный период использования нагревателя в связи с изолированностью проводника от температурных воздействий внешней среды. Однако если происходит перегорание термовкладыша, возможность его ремонта отсутствует, что является существенным минусом конструкции.

По техническим задачам ЦНИИОМТП разработали термовкладыш, который состоял из нескольких пластов термоткани, пропитанной эпоксидным компаундом, среди которых установлен тонкий шнур. Установление шнура выбрано так, чтобы по краям можно было сделать силу нагрева на 15-20% больше, относительно средней.

В результате тестирования данных нагревателей установлено, что они в течение длительного периода могут работать при 60⁰С. Удельная мощность в таком случае составляет 600 Вт/м² [32]. Такие конструктивные нагревательные решения использовались для нагрева термоактивной стальной опалубки производства ЦНИИОМТП. Такая опалубка нашла применение при строительстве чугунолитейного строения завода КамАЗ. ЦНИИОМТП также разработал нагревательные конструкции, имеющие сплошной токопроводящий слой на основе графитовых композитов. Несмотря на простоту конструкции, они не смогли завоевать ожидаемой

популярности. В тот же период аналогичные задачи выполняли шины, произведенные из фольги на основе меди либо алюминия. Однако при необходимости значительного повышения размеров нагревателей, наблюдалось понижение напряжения в проводах шин и в контактном токопроводящем слое, что вызывало температурные скачки.

Позже, в период 80х годов, ЦНИИОМТП совместно с нынешним РХТУ им. Менделеева разработали и изготовили нагревательные конструкции с токопроводящими слоями, имеющими широколенточный дизайн. Данная разработка значительно улучшила электропроводность и выровняла неравномерность температурных полей [32].

Необходимо отметить разработку ОАО «Курский завод резинотехнических изделий Курск резинотехника», представляющую собой токопроводящую резину, которая в тот период выступала наилучшим нагревательным элементом для низкотемпературной опалубочной конструкции, в частности криволинейного типа. Такие нагревательные элементы с мощностью 400 Вт/м поддерживают равномерность температурных полей и имеют существенных рабочий ресурс – до 10 тыс. ч при 60 °С.

Интерес представляют разработки нагревателей для фанерной, деревянной и стальной термоактивной опалубки, произведенные А. Крыловым и А.Н. Пыжовым в НИИЖББ. В таких устройствах тканная металлическая сетка выступает в качестве проводника. Сетка отделена от стальной палубы картоном на основе асбеста, а от утеплителя, с противоположной стороны, двойным стеклянным полотном.

Пояса, сделанные из сеток шириной 150-250 мм кладут с шагом 100-150 мм, в зависимости от размера опалубочного щита, объединяют между собой до совпадения поясов. Поперечные проволочные нити отвечают за проводимость тока, продольные – за сопротивление.

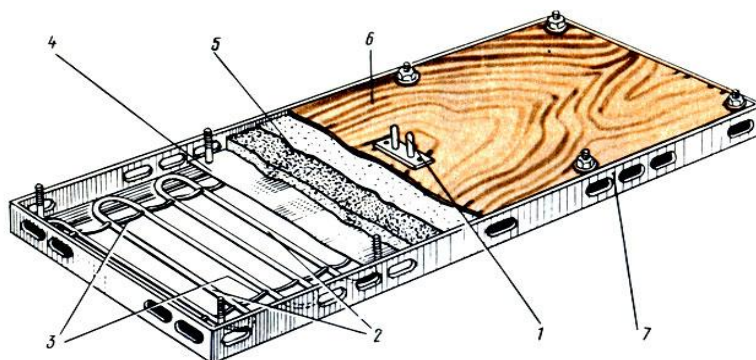
В начале 70х годов представители ЦНИИОМТП, а именно Агнееков, Шишкин, при участии Топчего, разработали и оценили в действии ряд

плоских низкотемпературных нагревателей, повышенной технологичности и надежности, мощностью до 12000 Вт/м [32]. В виде токопроводящей компоненты выступали металлические проволоки, например, из нихрома, константана, отличаясь от ранних решений изоляционным материалом и способом его нанесения.

В изолирующей конструкции ЦНИИОМТП использовали пленки, для получения которых, бумага пропитывается смолами из фенола. Для этого брали специальный вид бумаги, которая была сделана из стойкой к сульфиту целлюлозы - марок ЭИП-50, ЭИП – 75, также марок ИПСТ – 60, ИПСТ – 72. Также были задействованы крафт-бумаги, которые весили 130-170г/м². Стеклоткани обладают стойкостью к температурам до 450⁰С. В качестве материалов, которые пропитываются, применялись смолы по типу ОК, ОФДК, ОФ, а также лаки со спиртом ИФ/ЭП. Слой, который был изолирующим, накладывался горячим прессованием, что способствовало выдерживанию давления 0,4-0,6 МПа, температура при этом составляла около 135⁰С.

Толщина нагревателя зависит от толщины проводков из металла, обычно 1,2-2,5 мм. Но при толщине до 3 мм могут произойти изменения во время использования, что характеризуется температурной неравномерностью между палубой и утеплителем. Именно поэтому начали использоваться сердечники, сделанные из оргалита, которые имеют толщину 3-3,5 мм, или из многослойной фанеры толщиной 6-8 мм [32].

Проведенные Агнеевым опыты показали, что при определенных параметрах нагревателей, возможно их задействование в фанерной опалубке. В конце 90х годов самой лучшей в использовании из разборно-переставных типов опалубки считали термоактивную опалубку из стали «Монолит-72» (рис.1.9). Ее комплект составляют каркасные щиты, схватки, различные крепления и соединения, которые служат поддержанием элементов для систем с горизонтальной поверхностью (стойки для телескопа, хомуты и т.п.)



«Монолит»: 1 – каркас; 2 – нагреватель; 3 – планка, которая прижимает; 4 – утеплитель, который состоит из шлаковойлока; 5 – крышка; 6 – шпилька, которая способствует креплению крышки; 7 – разъем для войлока; 8 – вырез, который сделан для того, чтобы установить устройство.

Рисунок 1.9 – Изображение опалубочного щита, сделанного из стали

В качестве основы стальных щитов был использован неравнополочный уголок размером 3х40х4 мм. Опалубка изготовлена из двухмиллиметровой листовой стали. Для крепления наружной фанерной крышки и утеплителя, щиты с внутренней стороны оборудованы специальными шпильками с резьбой. С помощью стальных скоб (кляммеров) к палубе крепятся нагреватели. Любые из вышеописанных термовкладышей конструкции ЦНИИОМТП плоской формы могут быть использованы в опалубке «Монолит-72». Однако рекомендовано использовать именно высокотемпературный греющий кабель типа КНМС. Его можно применять в любой среде, где есть броневая стальная оболочка и надежная изоляция [31, 32].

Опалубка «Монолит-72» отличается особенностью конструкции, а именно возможностью использования ее составляющих для комплектования крупноразмерных опалубочных панелей и блоков (включая варианты с незамкнутым контуром).

На многих объектах нашла применение термоактивная опалубка «Монолит-72»: в тресте Уралтяжтрубстрой, на строительстве завода КамАЗ и др. [32].

Сейчас на территории России, термоактивная опалубка все чаще используется круглый год с целью ускорения процессов застывания бетонных и железобетонных конструкций (в особенности с тонкими стенами). В Санкт-Петербурге применяли термоактивную объемно-переставную опалубку конструкции ЦНИИОМТП во время строительства многоэтажных сооружений, перекрытия и поперечные стены которых выполнялись из монолитного железобетона. Эта опалубка являлась пространственным каркасом с тремя щитами, закрепленными шарнирами. В качестве нагревателей щитов использовали ТЭНы, зафиксированные на расстоянии 50...60 мм с шагом до 250 мм. Они функционируют в температурном диапазоне 280-350°C. Даже при удаленной мощности 1200...2000 Вт/м, благодаря отражателям экранов и толстой палубе (традиционно 6...8 мм) сохраняется равномерное температурное поле. Н.И. Евдокимов экспериментировал с выравниванием температурных полей с применением высокотемпературных нагревателей, а именно способом окраски палубы составами различной отражательной способности [32].

Уровень черноты задней стороны палубы, повернутой к нагревателям, должен быть пропорционален квадрату расстояния. В сочетании с отражательными экранами этот способ оказался действенным, позволив повысить мощность и увеличить расстояние между нагревателями на 10%. Ю.А. Минаков разработал и представил комплекс новых действенных конструкций для монолитного строительства, а именно термоактивных опалубочных систем, работающих при пониженном напряжении [33].

Принцип применения нагревателей плоской формы послужил базисом для термоактивных низковольтных опалубочных систем. Плоские нагреватели – это снабженная электродами графитовая ткань, которая запрессована в стеклопластиковую оболочку. Они разработаны и

изготовлены в форме графитопластиковых нагревателей с учетом высоких технологий. В качестве греющей и токопроводящей детали нагревателей используется углеродная ткань. Ее получают в процессе пропускания специальных составов через фильеры с дальнейшим воздействием высоких температур, которые создают условия выпаривания органических структур и полимерных компонентов, но сохранения углеродной связки, обладающей высокими физико-механическими параметрами [33, 36].

Изучение технических свойств плоских графитопластиковых нагревателей дает возможность очертить комплекс присущих им характеристик: технологичность, надежность и экономичность. К ним изначально также относятся: высокие физико-механические параметры, малая удельная масса – до 1 кг/м, а также высокий ресурс безотказной работы (до 50000 часов) [33].

Главными отличиями плоских графитопластиковых нагревателей от традиционных, являются конструктивно-технологические особенности, а именно: обеспечение равномерного теплового потока, высокая надежность, долговечность, низкие деформационные характеристики, небольшая масса и высокая прочность.

Но главная особенность состоит не только в этом. Самым важным можно назвать вероятность применения широкого круга напряжений, которые способствуют формированию тепловых полей с различной интенсивностью.

Ю.А. Минаковым были проведены исследования, которые определили, что при использовании безопасного напряжения с диапазоном 30...60 Вт, можно получить удельную тепловую мощность от 100 до 1500 Вт/м². Из этого следует вывод, что при изменении рабочего напряжения, возникает возможность управления потоками тепла.

Термоактивные элементы в виде графитопластиковых нагревателей способны работать как на постоянном, так и на переменном токе. Кроме того, они устойчивы к перепадам напряжения от 30 В до 380 В. Следующими

отличительными особенностями можно назвать высокую изоляционную способность и низкую массу при небольшой толщине. Стеклопластиковое покрытие допускает возможность контакта нагревателей бетонной смеси с низкой адгезией. Высокий экономический эффект обеспечивает надежность от возгорания и работоспособность термоактивной опалубочной системы, это также способствует общей безопасности работы. Затвердевание бетона при создании тепловых полей однородного типа происходит гораздо быстрее, процесс ускоряется и за счет управления термообработкой. По окончании, из-за ускоренного цикла термообработки, качественная и долговечная конструкция производится очень быстро, что влияет на время строительства в целом.

Ю.А. Минаков предложил и разработал конструкцию плоских металлических нагревателей. Они имеют вид металлического перфорированного листа, с контактными элементами с изоляцией из стеклопластика. Проводящим и греющим элементом является очень тонкий стальной перфорированный лист толщиной 1 мм. Отверстия в нем имеют цилиндрическую форму и находятся в шахматном порядке с расстоянием в 0,5 диаметра. К тому же, общая площадь этих отверстий составляет около 30% площади всего листа из стали. Токопроводящая изолированная облицовка крепится распорными анкерами из полимера, проводимыми сквозь отверстия в палубе, совпадающими с перфорацией листа. Напряжение понижающего трансформатора подается на этот металлический лист посредством коммутационных клемм и проводов. Как результат, перфорированный лист нагревается, и тепловая энергия передается сквозь стеклопластиковую оболочку смеси из бетона, контактирующей с поверхностью.

Конструкция опалубочной системы позволяет использовать низкое напряжение до 12В и большую силу тока - до 10000А [30]. Данная особенность обеспечивает равномерный тепловой поток при контакте с

бетонной поверхностью, температура которой равняется +60...+80 °С. Это выгодно отличает их от традиционных строений термоактивных опалубок.

На сегодняшний день наиболее передовым способом обогрева бетона считается обогрев термоэлектрическим методом. Конструкции термоэлектрических изделий выполнены с применением графитовых нагревательных элементов, которые обеспечивают нагрев бетона.

Термоактивная опалубка дает возможность повышения температуры залитой бетонной композиции до +80 °С (максимальное значение), с поддержанием ее на протяжении нескольких суток.

После подачи на полимерную прослойку напряжения, она создает ИК-излучение, которое постепенно начинает проникать в бетон на глубину до 80 см. Благодаря воздушной прослойке и отражающему материалу, теплопотери сводятся к минимуму.

Если говорить о преимуществах конструкции, то стоит выделить:

- возможность прогрева раствора даже в сложных погодных условиях;
- простоту применения;
- прогрев, который осуществляется по всей бетонной поверхности, благодаря чему исключается риск растрескивания монолита из-за температурных перепадов;
- возможность многократной эксплуатации изделий;
- небольшое энергопотребление.

Однако, чтобы подогрев был осуществлен качественно, необходимо учитывать некоторые нюансы применения греющей опалубки.

Особенности использования электроматов. В первую очередь, необходимо учесть, что использовать такие приборы можно только при температуре окружающей среды от -40 до +45 °С. Высокий температурный порог обеспечивает набор прочности смеси в жаркую погоду, т.к. при повышенных температурах среды и долгом сроке застывания из массы испаряется слишком много влаги. Если в таких условиях использовать греющую опалубку, то смесь наберет 70% прочности уже через 20 часов.

Был проведен анализ, который показал, что термоактивные опалубки состоят из таких частей: защитный слой – палуба, каркас, нагревательный компонент, изоляция от тепла и кожух, который защищает от воздействия внешних факторов. Именно нагреваемый компонент является основным рабочим органом. Это источник тепла, который определяет природу воздействия опалубки на температуру бетонного поля.

Традиционно термоактивные опалубки производятся с автономными нагревательными деталями, которые производят энергетическое воздействие на бетонные сооружения. Проведенный анализ также свидетельствует о том, что большое количество нагревателей затрудняет выбор подходящего конструктивного решения термоактивной опалубки для внедрения автоматизированных систем. ЦНИИОМТП и НИИЖБом систематизировали и классифицировали нагреватели, но проблема осталась.

Исследование конструкции термоактивных опалубок позволило прийти к выводу, что все они являются однообразными. Изменяется только материал (от дерева до фанеры) и природа нагревательного элемента. В них используются отдельные нагреватели. Они затрудняют конструкцию и способствуют потерям электроэнергии, так как она тратится еще и на разогревание палубы и устранение противодействия. Часто выделяемый тепловой поток не является равномерным, а работы крайне опасны из-за вероятности удара электрическим током. Одни нагреватели имеют высокие технические преимущества, но не являются экономически выгодными, а другие наоборот, экономически более выгодны, но нетехнологичны.

2 Исследование процессов механизации бетонных работ на основе тепловой обработки бетона

2.1 Анализ и исследование процессов тепловой обработки бетона

В ходе теплового воздействия на бетонные смеси основной задачей остается необходимость поддержания определенного уровня температур при обогреве бетона. При использовании ручного регулирования в технологических процессах прогрева бетона проблемой остается наличие отклонений реального режима нагревания от требуемого. Данные проблемы обусловлены необходимостью регулирования температуры бетонной смеси в процессе изменений показателя электрической мощности. Такие изменения обусловлены ростом температуры бетонной смеси вследствие его обогрева и относятся к объективным факторам, воздействующим на техпроцесс. Кроме того следует учитывать и субъективные факторы, например, отношение операторов процесса тепловой обработки к служебным обязанностям.

Результатирующими изменениями после отклонения реального режима нагрева от задаваемых значений будут пониженные качественные характеристики бетонной смеси, затвердевшего бетона и итоговой конструкции. В дополнении к данным изменениям следует отметить повышенную длительность периода прогрева смеси, что повлечет рост энергозатрат и повышений стоимости строительства. Соответственно, повышение эффективности процессов бетонирования монолитных изделий с применением термоактивации возможно при соответствии заданных и фактических значений температур. Необходимость достижения данного критерия эффективности требует применения автоматизированных систем управления процессами термообработки бетона.

Температура и влага выдерживания бетона значительно влияет на процессы твердения данного материала в условиях постройки монолитных конструкций и на конечный результат и свойства бетонной массы.

Интенсивность процессов строительства требует применения экономических и ускоренных способов затвердения бетонного материала, которые обеспечивают улучшение технологической прочности, а также экономической эффективности, благодаря уменьшению сроков возведения элементов конструкций различных домов и сооружений.

В механизм набора прочности бетонов, как многофазных образований, входят: структурообразование, процессы тепломассопереноса и напряженно-деформированное состояние. В процессе набора прочности происходит изменение реологического состояния бетона и его смесей и это делает необходимым рассмотрение моделей с учетом фазового состояния[38].

Фазовые превращения значительно ускорятся при воздействии температур на твердеющие бетоны. В начале процесса выдерживания бетона следует обеспечить стабильность градиента температуры по плоскости и сечению конструкции. Он влияет на химически несвязанную влагу в процессе перемещения в область пониженной температуры.

Деструктивные процессы в твердеющем бетоне наступают при увеличении градиента температуры. Это происходит за счет того, что меняется соотношение цемента с водой. Также, это связано с массопереносом цементной пасты [39, 40].

Как только температура повышается до 70°C , скорость гидратации цемента становится значительно выше. Технологическая эффективность процесса будет повышена, если температурные режимы будут управляемыми и обеспечат учет фазовых превращений и влияние на них окружающей среды. Наиболее оптимальным способом повышения скорости отверждения бетонных смесей и повышения эффективности технологий получения монолитных бетонных изделий является способ нагрева бетонов с применением термоактивных опалубок, которые оснащены системами автоматического регулирования температурных режимов.

Для того чтобы технологическая надежность строительных процессов была выше и гарантировала безопасность сооружения объектов монолитного

строительства, необходимо применить: энергоисточники с достаточно высокой надежностью и долговечностью, инструментальный контроль (автоматизированный) собирающий технологические параметры и прогнозирующий физико-математические характеристики бетона.

Чтобы произвести оптимизацию теплового воздействия со снижением энергетических затрат, используют методы обработки, которые управляются автоматизировано, вместе с добавками противоморозного и пластифицирующего действия.

Химический состав цемента, его вид, состав и пластифицирующие добавки влияют на интенсивность набора прочности самого бетона.

Сегодня популярным является воздействие на бетон теплом, за счет греющих проводов, которые оставляются в бетонной конструкции, а также методом электронного обогрева или термоактивных опалубочных щитов. Последние варианты стали ведущими методами в тепловой обработке при любом сезоне (зима, лето), совместно с автоматизированными средствами управления термообработкой бетона [41].

Одними из наиболее важных данных, с технологической точки зрения, оказывающими воздействие на производительность работ, считаются функциональные зависимости разогревательной скорости, показатели температур толщины каждого слоя бетонной смеси, обособленные мощности излучателей при разных параметрах окружающей обстановки.

После проведения ряда исследований подобной зависимости, Афанасьев А.А, Турецкий Ю.Б. и Минаков Ю.А. предоставили параметры обособленной мощности по качеству и количеству, зависящей от разогревательной скорости бетона.

Возрастание обособленной мощности до 1000 Вт/м^2 может привести к уменьшению срока разогрева при совместном увеличении температуры.

Уменьшению мощности до 300 Вт/м сопутствуют изменения продолжительности разогревательного цикла при определенном снижении температуры [43,44].

Стремительное уменьшение цикла набора надежности происходит при применении термоактивных систем опалубок вместе с автоматизированными регулирующими системами термообработки бетонной смеси, что влияет на интенсивность бетонных процессов и не зависит от влияния среды.

2.2 Исследование конструктивно–технологических аспектов применения термоактивной опалубки

В теории при разработке опалубки данного вида, обособленная мощность щитовых нагревателей определяется как совокупность полезной мощности, которая потребляется на обогрев бетонной конструкции, а также мощности, что компенсирует расход тепла во вне.

Полезная мощность зависит от приемлемых перепадов температуры между ядром и сферами конструкции из бетона, от центра к периферии. Этот показатель зависит от нагревательной скорости расчетного типа, которая относится к опалубке каждого слоя бетона. Она зависит, прежде всего, от возможности бетонной смеси изменять теплопроводность в разные периоды [56].

При работе на открытых площадках потери тепла обусловлены показателями перепада температур между щитовой палубой и воздухом снаружи, а также величиной теплопередачи утеплителя.

Изготовление правильной конструкции термоактивной опалубки способствует улучшению ее свойств за счет:

- обособленной мощности нагревателей;
- сопоставления полезной и расходуемой на потерю тепла мощности;
- равномерности поля температур;
- веса щитов (также относится вес утеплителя и нагревателей);
- цены производства и использования, сборки и подключения

разводки коммутирующего типа;

- возможного согласования с системами автоматизации тепловой обработки бетонной смеси.

Наиболее известными веществами, которые применялись последние несколько лет для того, чтобы утеплить термоактивную опалубку, считались минеральная вата, стекло- или шлаковата, а также полужесткие или жесткие маты из этих материалов. Они отличались высоким уровнем термической устойчивости.

Но стекло- и шлаковата гигроскопичны, как и все виды утеплителей с раскрытыми порами. Серьезным недостатком этих материалов считается:

- недостаточная надежность при сжатии,
- возможность прессования при низком давлении (в 6 кПа), в частности после значительного увлажнения.

По причине этого в ее конструкцию входят такие компоненты как:

- инсулак,
- бронева оболочка из фанеры наружного типа,
- оргалит и другие.

Свойства утеплителя определяются гигроскопичностью и воздухопроницаемостью.

Расход тепла термоактивной опалубки может изменяться в широком диапазоне, что обусловлено силой и направленностью ветра, влажностью на начальной стадии, особенностями массопереноса в утеплителе при работе нагревателей, а также количеством мостиков холода. Ими являются открытые детали опалубки, изготовленные из металла (щитовые ребра, подкосы и крепления) [36].

Согласно исследованиям, проведенным московским научно-исследовательским институтом строительных материалов и технологий, значительное воздействие на уровень потери тепла оказывают мостики холода (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Уровни передачи тепла при разных устройствах утеплителей

Устройство утеплителя	Коэффициент теплопередачи	
	Вт/(м ² °C)	%
Мат из шлаковойлока + фанера, толщина 20мм и 3 мм соответственно	5,0	148
Мат из шлаковойлока + фанера, толщина 40мм и 3 мм соответственно.	3,4	100
Мат из шлаковойлока + фанера, толщина 60мм и 3 мм соответственно	2,76	81
Прослойка из воздуха толщиной 30мм. + фанера толщиной 3 мм. обжимание по краям шлаковойлоком	5,80	171
Прослойка из воздуха толщиной 30мм. + фанера толщиной 3 мм. обжимание по краям шлаковойлоком	4,83	141
Прослойка из воздуха толщиной 14мм. + фанерный экран с ячеистым филлером толщиной 180 мм, обжимание по краям шлаковойлоком	5,0	148
Отражающий холст фольги из алюминия + мат из шлаковойлока толщиной 40 мм. + фанера толщиной 3 мм.	3,06	90
С фольгированным утеплителем «Технониколь»	2,32	78

Покрытие мостиков холода пластом шлаковаты на 10-15 мм, либо ограждение их слоем фанеры, уменьшает потери тепла на 25-70%.

Один из наиболее серьезных изъянов утепления из шлаковаты или стекловаты - стремительное уменьшение теплозащитных качеств при повышении влажности.

Таблица 2.2 – Корреляция уровня передачи тепла опалубочных щитов

Соотношение суммы сторон каркаса к поверхности экрана	Поверхность открытых краев, см ³		Коэффициент передачи тепла	
	Поверхности	Поперечного сечения	Вт/(м ²⁰ С)	%
4:1	600	1600	3,4	100
4:1	1200	1600	4,0	115
4:1	2000	1600	5,02	147
6,5:1	1000	2600	6,26	183
6,5:1	2000	2600	8,3	243
8:1	1200	3200	8,3	243
8:1	2200	3200	9,7	284
8:1	3200	3200	11,6	340

Несколько экспериментов проведены в ЦНИИОМТП, при использовании разных утеплителей и их сочетаний, для установления корреляции уровня передачи тепла от количества влаги [38].

Массообмен пористого утеплителя протекает быстрее, но уровень передачи тепла даже через 6-8 ч. больше на 25-40%, нежели воздушно-сухого филлера.

Это можно объяснить увеличенной отдачей тепла от сырой фанеры, которая сушится 14-46 ч. Намного более медленно проходит устранение влажности из утеплителя и воссоздание его исходных свойств при поэтапном увеличении температуры со скоростью 5...10°С/ч [39].

Отсыревание утеплителя из-за природных осадков осложняет контроль режима температуры, ведь мера отсыревания всех экранов разная. Качество защиты снижается, энергия расходуется не на нагрев смеси, а на испарение влаги, что обуславливает увеличение расходования электроэнергии [39].

Обеспечение однородного температурного поля на палубе экрана необходимо, т.к. неоднородные поля температуры на поверхности палубы экранов являются источником возникновения микроскопических трещин в бетоне, что уменьшает его морозостойкость.

Пользование такими носителями тепла, как вода, пар, газы высокой температуры, при пользовании нагревателей из нихромовых проводов на сердцевине из асбеста и цемента, позволило обеспечить сравнительно одинаковое поле температуры на всей плоскости палубы, кроме зон на периферии.

Данный изъян конструкции можно устранить благодаря использованию особых проводов и кабелей [39] в качестве нагревателей. Изучение особенностей теплообмена позволило узнать нужную добавочную мощность нагревателей у открытых краев и иных деталей из металла, контактирующих с внешней средой.

Но на самой палубе поле температуры в некоторых ситуациях оказывалось настолько неоднородным, что даже при подогреве в мягких режимах поверхность устройств из железобетона была покрыта множеством трещин, в виде паутины, видимой при осмотре без дополнительной аппаратуры [37].

Особо часто эти изменения отмечают при использовании экранов больших размеров или обшивок, изготовленных по индивидуальному заказу [38].

Установление нагревателей с небольшим шагом в (рисунок 2.1) и уменьшение мощности являются убыточными с точки зрения экономики. Кроме затрат на нагревательные кабели возрастают затраты на их прикрепление на плоскость внутри палубы, коммутацию.

В значительной части ситуаций не менее важной деталью является возрастание массы опалубочных элементов при установлении собственными руками или при сборке в панели и блоки, что приводит к значительному уменьшению продуктивности работы опалубщиков.

Исследования эффективности термоактивной опалубки активно ведутся и в последние годы. В частности данная проблема рассматривается в диссертации Дудина М.О. по специфике зимних бетонных работ, а также в исследовании Молодина В.И по управлению процессами термообработки посредством моделирования терморежимов.

Данные авторы рассматривают современные методы обогрева в термоактивных опалубках, сравнивают наиболее часто применяемые из них в строительстве, с применением математических методов и современного программного обеспечения.

Дудин М.О. в своей диссертации сделал вывод, что использование проводов ПНСВ при обогреве бетона влечет за собой риск трещинообразования.

В работе Молодина В.И. рассматривается особое техническое решение – создание монолитных конструкций в процессе возведения каркасного административного здания. Автором предложены физические и математические модели, характеризующие динамику распределения полей температур и соответствующие им конечные прочности монолитного бетона простой геометрии. Типовые конструкции железобетонных колонн серии ИИ–04 сборного типа, обчислены с применением методов программного обеспечения при ряде вариантов термообработки:

- вариант 1 - при обогреве стыков в опалубке с использованием греющих элементов трубчатой формы;
- вариант 2 - при обогреве бетонной смеси в термоопалубке;
- вариант 3 - при нагревании стыка в термоопалубке с заранее подводимым обогревом к стыкуемым элементам конструкции посредством греющего провода.

Обработка по 3-м вариантам велась в ранее установленном оптимуме температурных воздействий. Используемые в математической модели алгоритмы позволяют применять ее при автоматизации процессов управления термообработкой при колебаниях параметров внешней среды. Внешние изменения могут быть представлены колебаниями температуры и скорости ветра окружающей среды, кратковременным отключением электроэнергии и другими факторами, влияющими на колебания температурных полей.

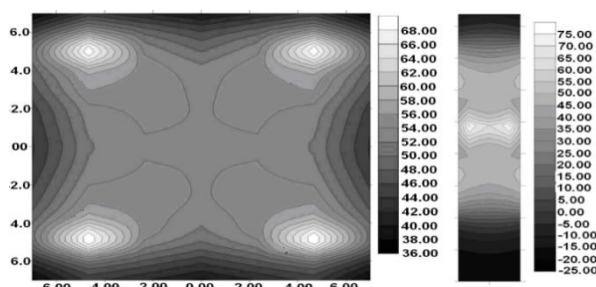


Рисунок 2.1 - Формирование температурных полей в бетонной композиции после термообработки, при различных вариантах нагрева, согласно охарактеризованным выше вариантам

При анализе процессов бетонирования, особенно в районах крайнего севера и в зимнее время, часто сталкиваются с проблемами изготовления бетонных изделий толщиной более 650мм. На сегодняшний день существуют устройства, которые способны прогреть большой слой бетона.

Рассчитаем необходимые параметры греющей опалубки и твердения бетона для обогрева железобетонной конструкции монолитного типа, в частности внутренней стены здания на основании следующих исходных данных [40]:

- параметры греющей опалубки: длина $L = 1,8$ м; высота $H = 0,9$; толщина $\delta = 0,8$ м; объем бетона $V = 1,29$ м³; модуль поверхности $M_n = 6$ м⁻¹; степень армирования $P_a < 1$ %;
- параметры термоактивной опалубки (для расчета требуемой удельной мощности термоцифров): стальная опалубка – толщина металла $\delta = 2$ мм,

утеплителя $\delta_1 = 10$ мм, утеплителя $\delta_2 = 20$ мм, коэффициент теплопередачи $K_T = 1,8 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °C)}$ при $\omega = 0$ м/с;

- начальная температура бетонной смеси $t_{б.н} = +2$ °C;
- наружная температура воздуха $t_{н.в} = -20$ °C;
- планируемый период твердения бетона в опалубке – 2 сут.

Основной сферой использования способа получения монолитных конструктивных элементов с применением электрической греющей опалубки с нагревателями трубчатого типа, остаются процессы возведения фундаментов и массивных стен с модулем поверхности $M_{п} = 3\text{--}6 \text{ м}^{-1}$.

Нагрев бетонной смеси в данных опалубках происходит контактным способом при передаче тепла от нагретой палубы к бетону, с последующим его распространением за счет теплопроводности смеси. Физическая сущность данного процесса аналогична способу нагрева с применением термоформ для сборных бетонных и железобетонных изделий. Устройства греющей опалубки включают греющие трубчатые электронагреватели (ТЭНы), размещаемые внутри палубы из стали/фанеры, а также нагревающие провода, кабели, тканевые нагреватели (гибкие ленты, полосы) [40].

Таблица 2.3 – Требования к осуществлению термоактивации бетона при отрицательных внешних температурах

1. Скорость подъема температуры при тепловой обработке бетона:	
для конструкций с модулем поверхности:	Не более:
до 4	5 °C/ч
от 5 до 10	10 °C/ч
свыше 10	15 °C/ч
для стыков	20 °C/ч
2. Скорость остывания бетона по окончании тепловой обработки для конструкций с модулем поверхности:	
до 4 По расчету	По расчету

Продолжение таблицы 2.3

от 5 до 10	Не более 5 °С
свыше 10	Не более 10 °С
3. Разность температур наружных слоев бетона и воздуха при распалубке с коэффициентом армирования до 1 %, 3 % и более 3 % должны быть, соответственно, для конструкций с модулем поверхности:	
от 2 до 5	Не более 20, 30, 40 °С
свыше 5	Не более 30, 40, 50 °С

Таблица 2.4 – Коэффициент теплопередачи опалубки различной конструкции
 K_T

№ п/п	Конструкция теплограждения опалубки	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² °С) при скорости ветра, м/с		
		0	5	15
1	Доска 25 мм	2,44	5,22	5,97
2	Доска 40 мм	2,01	3,6	3,94
3	Толь (или рубероид), 1 слой Минераловатная плита или шлаковата, 40 мм Толь (или рубероид), 1 слой	1,2	1,57	1,65
4	Сталь, 3 мм Минеральная вата, 50 мм Фанера, 4 мм	1,02	1,27	1,33
5	Электронагреватель, 3 мм Доска, 25 мм	1,5–23	–	–
6	Электронагреватель, 3 мм Доска, 40 мм	1, 3–2	–	–
7	Электронагреватель, 3 мм Сталь, 3 мм	1,9–3,7	–	–

Продолжение таблицы 2.4

8	Доска, 25 мм Толь Доска, 25 мм	1,8	3,02	3,25
9	Доска, 25 мм Пенопласт, 30 мм Фанера, 4 мм	0,67	0,80	0,82
10	Доска, 25 мм Толь Минеральная вата, 50 мм Фанера, 4 мм	0,87	1,07	1,10

Значения температур опалубки и бетона зависят от применяемых нагревающих устройств. Так, в опалубках с применением греющих проводов и токопроводящих тканей, условия нагревания бетона необходимо вычислять исходя из максимальной рабочей температуры (60°C). Нагревательные устройства других типов дают требуемый уровень нагрева при $80\text{--}90^{\circ}\text{C}$.

Термоактивные опалубки серийного стандартизированного производства отличаются показателями мощности нагревающих элементов относительно единицы площади щитов ($P_{\text{уд}}$), которые находятся в диапазоне $0,2\text{--}1,4 \text{ кВт/м}^2$. Выбор данных опалубок для применения в реальных условиях получения конструкций производят по результатам расчетов на основе $P_{\text{уд}}$ (пример расчета показан ниже). Нестандартные решения термоопалубок также рассчитывают на основе $P_{\text{уд}}$, учитывая требуемый запас $P_{\text{уд}}$ термоактивных щитов.

Методика расчета параметров нагревания бетонной смеси в стандартных термоактивных опалубках заключается в следующем.

Вычисляют период роста температуры ($\tau_{\text{под}}$, ч) на основе табличных данных скорости повышения температуры бетонной смеси (V_p , $^{\circ}\text{C/ч}$) (табл. 2. 3):

$$\tau_{\text{под}} = \frac{t_{\text{п}} - t_{6.н}}{V_p} = \frac{90-2}{5} = 17,6 \text{ ч}, \quad (2.1)$$

где:

$t_{\text{п}}$ —выбирают в зависимости от состава бетонной смеси: на шлакоцементе - до 90 °С; на портландцементе, 3ей, 2ой и 1ой групп эффективности -до 80, 70, 60 °С соответственно;

$t_{\text{б.н}}$ — начальная температура бетона (не д.б. ниже 0 °С) к моменту нагревания, °С. При электроробогреве предварительно не разогретой на объекте бетонной смеси - $t_{\text{б.н}} = 2-5$ °С.

Оценка времени остывания бетонной композиции $\tau_{\text{ост}}$ производится до значения $t_{\text{б.к}}$ — температуры, при которой выполняется требование допустимой разницы параметров температур между воздухом и наружной стороной бетона (табл. 2.3).

Вычисление $\tau_{\text{ост}}$ производится с учетом двух факторов. Так, требуется либо ускоренная оборачиваемость опалубки, либо необходимо длительное остывание бетонной композиции в опалубке.

В первом случае скорость остывания $V_{\text{ост}}$ (°С/ч) выбирают по табл. 2.4 и в соответствии с п. 2 и вычисляют время остывания:

$$\tau_{\text{под}} = \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{расп}}}{V_{\text{ост}}} = \frac{90-60}{5} = -14 \text{ ч}, \quad (2.2)$$

Где:

$t_{\text{п}}$ и $t_{\text{расп}}$ — температуры бетона, прогрева и к началу распалубки соответственно, °С. $t_{\text{расп}}$ рассчитывают с учетом допустимых отклонений температур бетонной композиции и воздуха по табл. 2.3. Для расчета используют формулу:

$$t_{\text{расп}} = t_{\text{н.в}} + \Delta t, = -20 + 40 = 20^\circ\text{С}, \quad (2.3)$$

где:

$t_{\text{н.в}}$ — наружная температура воздуха (< 0 °С); Δt — допустимые отклонения температур бетонной композиции и воздуха (табл. 2.3, п.3).

Произведем оценку необходимой мощности для повышения температуры бетонной (железобетонной) смеси при значениях теплоемкости палубы из стали $C = 0,48 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{C)}$; толщине $\delta = 0,002 \text{ м}$; плотности $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$; утеплитель: $\delta = 0,02 \text{ м}$; $C = 0,76 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{C)}$; $\gamma = 100 \text{ кг/м}^3$; сталь: $\delta = 0,002 \text{ м}$; $C = 2,52 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{C)}$; $\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$:

Тогда максимальная требуемая мощность для обеспечения поднятия температуры $P_{\text{под}}$, кВт/м³ составит:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{под}} = & \frac{C_{\text{б}} * \gamma_{\text{б}} * V_{\text{р}}}{3600} + \sum_{i=0}^n \frac{C_{\text{оп}i} * \gamma_{\text{оп}i} * \delta_{\text{оп}i} * M_{\text{п}}}{3600} \frac{V_{\text{р}}}{2} + \\
 & + \frac{K_{\text{т}} * M_{\text{п}} * t_{\text{п}} - t_{\text{н.в}}}{1000} - 0,8 \frac{1,05 * 2500 * 5}{3600} \\
 & + \frac{0,48 * 7800 * 0,002 * 6 + 0,76 * 100 * 0,02 + 2,52 * 600 * 0,002}{3600} \frac{5}{2} \\
 & + \frac{1,8 * 690 - 20}{1000} - 0,8 = 9 \text{ кВт/м}^3, \quad (2.4)
 \end{aligned}$$

где:

$C_{\text{б}}, C_{\text{оп}i}$ – удельная теплоемкость бетона, равная $C_{\text{б}} = 1,05 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{C)}$, и опалубки (i – число слоев опалубки), $\text{кДж/(кг}^\circ\text{C)}$;

$\gamma_{\text{б}}, \gamma_{\text{оп}i}$ – средняя плотность бетона и материалов опалубки, кг/м^3 ;

$\delta_{\text{оп}i}$ – толщина i -го слоя опалубки, м;

$V_{\text{р}}$ – скорость подъема температуры, $^\circ\text{C/ч}$;

$K_{\text{т}}$ – коэффициент теплопередачи опалубки, $\text{Вт/(м}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$;

$t_{\text{п}}$ – температура прогрева бетона, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{н.в}}$ – температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$;

$-0,8$ – снижение требуемой мощности при выделении теплоты цементом, кВт/м³

Осуществление выбора термоактивной опалубки производится исходя из номинального значения удельной мощности термоцитов $P_{\text{уд.ном}}$, кВт/м² и условия:

$$P_{уд.ном} > P_{уд}, \text{ из ряда } P_{уд.ном} \sim 0,2-1,4 \text{ кВт/м}^2, \quad (2.5)$$

Данное критериальное условие применяется и при оценке эффективности уже имеющейся в наличии термоактивной опалубки.

Так, при $V_6 = 1,29 \text{ м}^3$ наибольшая требуемая мощность составит:

$$P_{под, max} = 1,29 * 9 = 12 \text{ кВт}, \quad (2.6)$$

Для оценки необходимой удельной мощности $P_{уд}$ термощитов опалубки, при условии передачи нагрева на 100 % от площади поверхности термоактивной опалубки, составляющей:

$$F_{т.щ} \sim 2 (L * h) \sim 2(1,8 * 0,9) \sim 3,24 \text{ м}^2, \quad (2.7)$$

где:

$F_{т.щ}$ – площадь термоактивных щитов опалубки, м^2 ;

используем следующую формулу:

$$P_{уд} = P_{под} / F_{т.щ}, \text{ кВт/м}^2, \quad (2.8)$$

$$P_{уд} = 12 / 3,24 \geq 3,7 \text{ кВт/м}^2,$$

Согласно результатам вычисления $P_{уд}$ производим выбор термоактивной опалубки, требуемой для конкретных работ или определяем возможности применения уже готовой опалубки по значению удельной мощности нагревающих элементов, согласно паспорту.

Выбираем ТЭНы, 1,0 кВт диаметром 13 мм, с расстоянием между ними $S = 300$ мм. Получим с каждой стороны опалубки по 6 шт.

К таким ТЭНам относятся – Тэн с маркой ТЭН-78А13/1.0-Т- 220 нерж ф1 который мы рассмотрим в главе 3.

3 Разработка технологических и технических решений по применению термоактивной опалубки

3.1 Предложения по конструктивному устройству термоактивной опалубки

По данным экспериментальных исследований, проведенных самым крупным застройщиком РФ - «группой ЛСР» и службой государственной статистики в области строительства, показано, что наиболее экономически выгодным методом является обогрев бетона в термоактивной опалубке по сравнению с другими методами усиления прочности бетонного покрытия.

Сначала был рассмотрен такой показатель, как трудоемкость процесса, результаты данного исследования представлены в табличном виде.

Сравнительные показатели метода термоактивной опалубки представлены в таблицах 3.1 и 3.2 [30, 31].

Таблица 3.1 – Среднестатистическая затратность труда исполнения основных действий по подготовке опалубки и возможностями бетона

Название	Трудоемкость процесса, чел.ч./м ³			
	термос	Электрический разогрев	Электроодный прогноз	Обогрев в термоопалубке
Изоляция от влаги и дополнительное утепление опалубки из дерева	<u>0,5</u> 0,2	<u>0,25</u> 0,15	<u>0,5</u> 0,15	--
Обогрев основания	<u>0,15</u> 0,1	<u>0,25</u> 0,1	<u>0,25</u> 0,1	<u>0,2</u> 0,15
Сборка и разборка опалубки: из отдельных частей	<u>3</u> 1,5	<u>3</u> 1,5	<u>3</u> 1,5	<u>2</u> 1,5

Продолжение таблицы 3.1

крупноразмерных панельных элементов	----	----	----	$\frac{0,8}{0,5}$
Электрический разогрев бетонной смеси	----	0,5	----	----
Заготовка и монтаж электродов	----	----	1,5	----
Коммутация элементов, которые потребляют электроэнергию	----	----	0,3	$\frac{0,2}{0,15}$
Вспомогательное утепление открытой бетонной дуги	$\frac{0,25}{0,2}$	$\frac{0,25}{0,2}$	$\frac{0,25}{0,2}$	$\frac{0,2}{0,2}$
Вспомогательные затраты на выдержку конструкций и подготовку к распалубке	$\frac{0,35}{0,3}$	$\frac{0,2}{0,15}$	$\frac{0,2}{0,15}$	$\frac{0,15}{0,075}$

Как видно из результатов исследования, трудоемкость процесса прогрева бетона в термоактивной опалубке ниже, по сравнению с методом термоса, электрического и электродного разогрева. Особенно разница в трудоемкости заметна в строке таблицы «Изоляция от влаги и дополнительное утепление опалубки из дерева». В термоактивной опалубке показатель трудоемкости в данной строке равен 0.

Далее в исследовании был рассмотрен такой показатель, как расход электричества. В таблице представлена зависимость обогрева толщины бетона и расход электричества кВт-ч./м³ для различных конструкций термоактивных опалубок. Максимальная толщина 650 мм и минимальный расход электричества в 48 кВт-ч/м³ достигается в опалубке деревометаллического типа УКО-67.

Числовое выражение экономии энергоресурсов методом термоактивной опалубки с использованием ТЭНов составит более 20% по сравнению с другими методами обогрева. Если сравнивать с электродным разогревом, то это значение может достичь 25% [30].

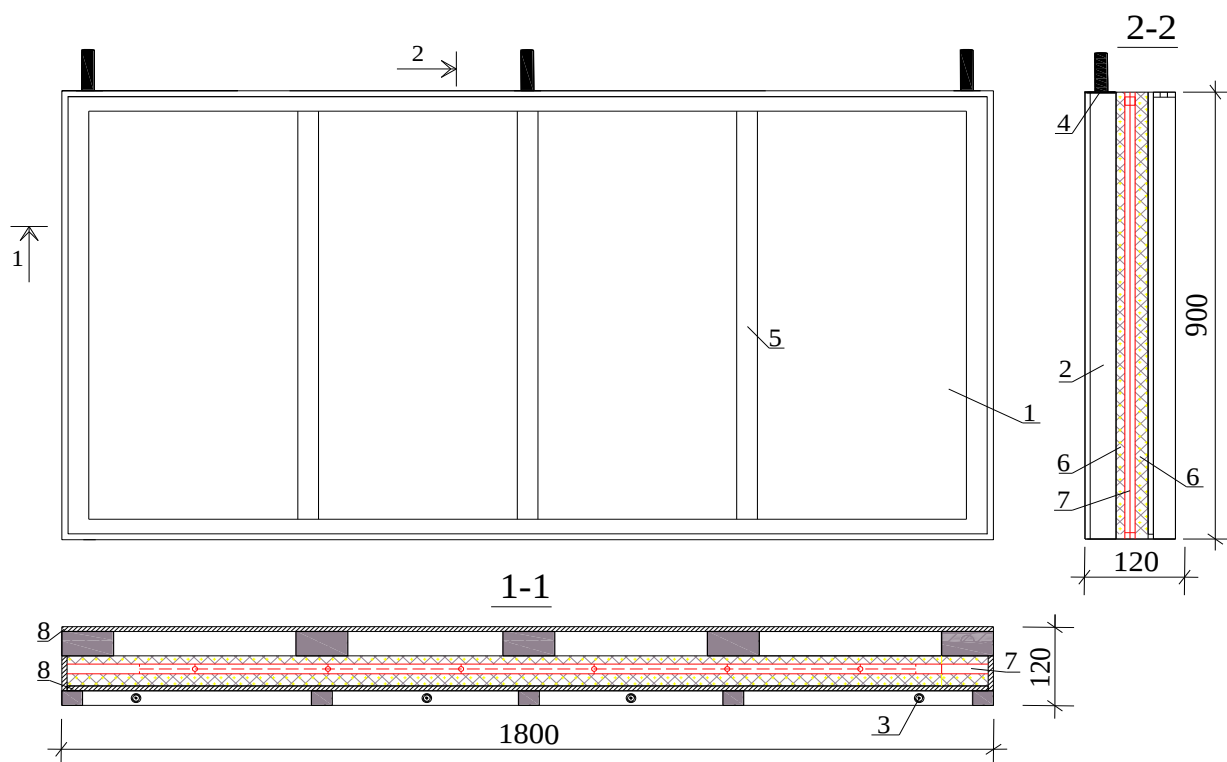
Таблица 3.2 - Энергоемкость разных способов термической обработки бетона.

Название способа и вид опалубки	Расходование электричества, кВт-ч./м ³ , для термической обработки бетонной стены толщиной, мм		
	350	450	650
Электрический разогрев: опалубка дощатого типа; $\delta=40$ мм	52	48	46
опалубка утепленная < Монолит-72 >	51	50	46
Электродный прогрев: опалубка дощатого типа; $\delta=40$ мм	73	60	50
опалубка деревометаллического типа, утепленная УКО-67	50	53	46
Нагревание опалубки < Монолит-72 >	42	44	48

Итак, можно сделать вывод, что выбранный метод прогрева бетона в термоактивной опалубке с применением ТЭНов является эффективным и имеет преимущества по сравнению с другими методами обогрева, как в трудоемкости, так и в экономии электричества, затрачивается меньше электрической энергии для обогрева бетонной конструкции с более высокими значениями толщины.

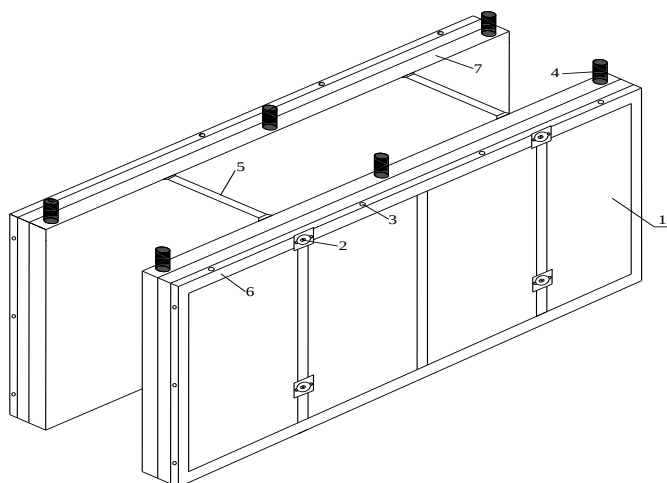
Далее представлена разработанная нами конструкция термоактивной опалубки.

Предлагаемая опалубка состоит из каркаса и трубчатых греющих ТЭНов.



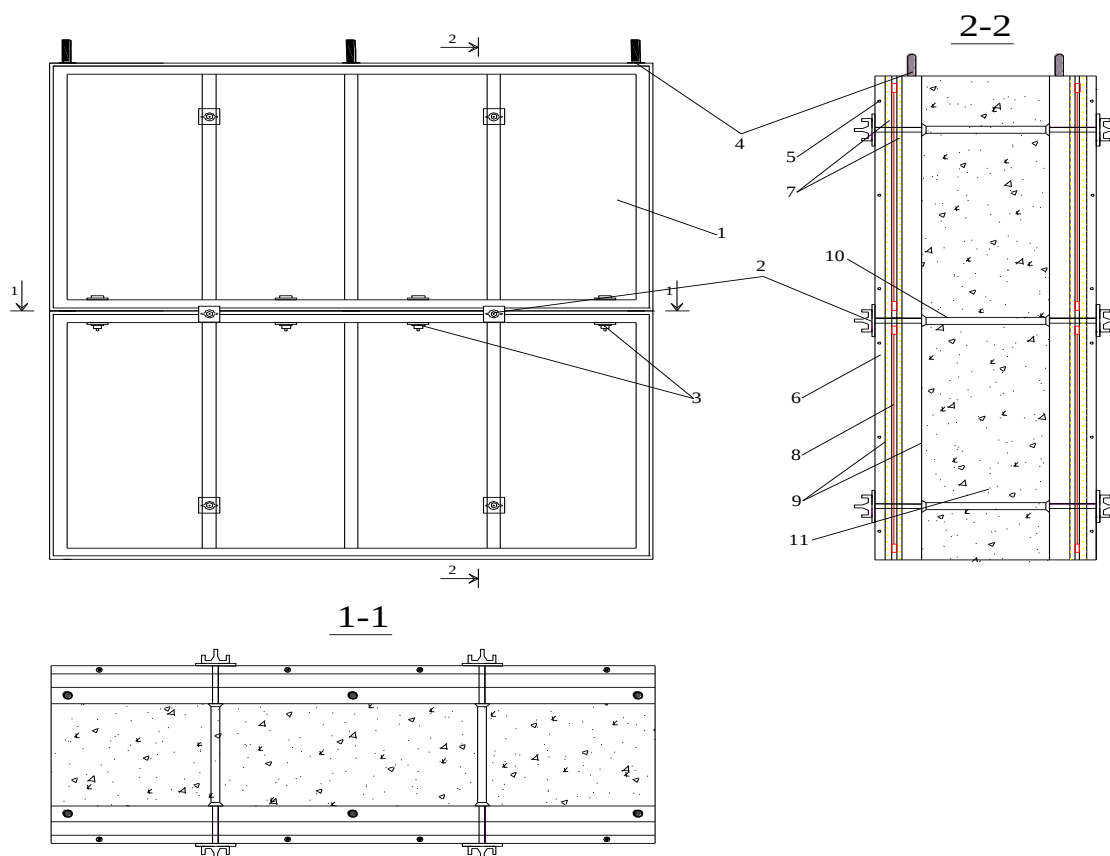
1. Щит опалубки; 2. Труба стальная прямоугольная 100х60 мм. 3. Отверстия для крепления; 4. Штырь. 5. Труба стальная прямоугольная 40х30 мм. 6. Утеплитель. 7. Трубчатые нагреватели диаметром 13мм. 8. Металлический лист 2 мм.

Рисунок 3.1 – Схема греющего щита опалубки



1. Щит опалубки. 2. Тяж опалубки с гайками. 3. Отверстия для крепления. 4. Штырь. 5. Трубка ПВХ. 6. Труба прямоугольная 40х30 мм. 7. Труба стальная прямоугольная 100х60 мм.

Рисунок 3.2 – Общий вид термоактивной опалубки



1. Щит опалубки. 2. Тяж опалубки с гайками. 3. Разъёмный замок с гайками
 4. Штырь 5. Отверстия для крепления 6. Труба стальная прямоугольная 40х30 мм. 7. Утеплитель. 8. Трубчатые нагреватели диаметром 13мм. 9. Металлический лист 2мм. 10. Трубка ПВХ. 11. Железобетон толщиной 800мм.

Рисунок 3.3 – Схема соединения греющей опалубки

В качестве электронагревателя выбран трубчатый ТЭН, в качестве утеплителя – фольгированный базальтовый утеплитель Технониколь (Приложение А).

При этом обеспечивается:

- повышение теплосберегающих характеристик материала посредством использования отражающего фольгированного алюминиевого утеплителя;
- повышение равномерности распределения тепловых полей при улучшенном рассеивании лучистой энергии от ТЭНа на периферийные области палубы, также за счет фольгированного утеплителя;
- заменяемость опалубки или ТЭНа при повреждениях.

Рассмотрим трубчатые электронагреватели (ТЭН) и утеплитель отдельно.

В настоящее время трубчатый электронагреватель является самым распространенным прибором для нагрева, который можно встретить практически в каждом доме. По сравнению с другими типами нагревателей ТЭНы можно безопасно применять даже при непосредственном контакте с нагреваемой средой, как при повышенном, так и при нормальном давлении; ТЭНы обладают высокой надежностью при ударах или вибрациях.

Конструкция выбранного ТЭНа с маркой ТЭН-78А13/1.0 Т 220В ф1.

Трубчатый электронагреватель представляет собой металлическую трубку, внутри которой идет нихромовая или фехрелевая токопроводящая нить. Объем между спиралью и стенками металлической трубы заполнен диэлектрическим материалом, хорошо проводящим тепло, например, периклазом. Нихромовая спираль, благодаря высокому омическому сопротивлению, при прохождении электрического тока сильно нагревается, но при этом не плавится. Тепловая энергия, проходя через слой изолятора кварцевого песка или другого диэлектрика, а затем через стенки металла трубы, нагревает поверхность той среды, в которой находится.

Таблица 3.3 – Технические характеристики ТЭНа

№	Характеристики	Значение
1	Диаметр	13мм
2	Длина	780мм
3	Обозначение ТЭН	Т
4	Материал изготовления нагревателей	нержавеющая сталь
5	Мощность	1.0 кВт
6	Напряжение сети	220В
7	Ресурс работы	До 10000 часов

Достоинства ТЭНов.

Трубчатые электронагреватели обладают следующими основными преимуществами:

- надежность работы;
- универсальность;
- безопасность обслуживания;
- не боятся вибрации и ударов;
- высокая температура до 800⁰С;
- надежная герметизация;
- срок службы до 1 года.

Достоинство ТЭНов состоит еще и в разнообразии их типовых форм, что позволяет встраивать их в различные установки, начиная от промышленных печей до бытовых обогревательных приборов.

Характеристика утеплителя.

Современный рынок строительных материалов предлагает потребителю широчайший выбор утеплителей. Сейчас наиболее востребованными и распространенными материалами для эффективного и надежного утепления можно считать базальтовую вату.

Базальтовый утеплитель – это материал, получаемый путем переработки горных пород. Это и позволяет называть вырабатываемый продукт «каменным», «базальтовым», «минеральным». Высокие показатели по удержанию тепла достигаются за счет того, что воздух в больших объемах накапливается в войлокоподобной текстуре. Он не перемещается по толщине утеплителя, находясь в своеобразной «ловушке» из множества волокон весьма мелких по диаметру.

Основные преимущества ваты:

- возможность свободно выдерживать воздействие высоких температур;
- долговечность - 50 и более лет;
- хороший уровень виброустойчивости;
- огнестойкая;
- не боится грызунов;
- легкая и прочная;

- обладает водоотталкивающими свойствами.

Базальтовые нити делят на непрерывный и штапельный типы. Последний тип разделяют по диаметру волокна:

- грубые от 50 до 500 мкм;
- утолщенные от 15 до 25 мкм;
- тонкие 9-15 мкм;
- сверхтонкие 1-3 мкм;
- ультратонкие до 1 мкм;
- микротонкие – менее 1 мкм.

Таблица 3.4 – Основные физико-механические характеристики

Наименование показателя		Ед. измерения	Мат ламельный ТЕХНОНИКОЛЬ 35
Коэффициент уплотнения, Кс *		-	1
Теплопроводность	λ_{10}	Вт/м*К	0,039
	λ_{25}		0,040
	λ_{125}		0,059
Сжимаемость, не более		%	10
Плотность		кг/м ³	80
Упругость, не менее		%	90
Группа горючести		Группа	КМ1 (Г1)

В качестве утеплителя выбран базальтовый утеплитель Технониколь. Мат ламельный ТЕХНО (Мат ламельный ТехноНИКОЛЬ) — это негорючий тепло-, звукоизоляционный мат, который формируется из ламелей каменной ваты.

Назначение предполагаемого материала.

В гражданском и промышленном строительстве, при новом строительстве и прокладке трубопроводов и реконструкции зданий и сооружений различного назначения применяется при температуре изолируемых поверхностей до $+250^{\circ}\text{C}$.

Предполагаемый материала обеспечивает функции:

- теплоизоляции;
- пароизоляции;
- является законченным декоративным покрытием для объектов, расположенных в помещении (вне помещения необходимо обустраивать защитный покровный слой).

3.2 Предложения по технологии производства работ с применением термоактивной опалубки

Температура и влажность - одни из самых главных параметров, от которых непосредственно зависит скорость набора прочности бетона.

Контроль температуры бетона в практике производят несколькими способами, наиболее часто применяемый это, конечно же, использование ртутного термометра, который помещается в скважину в бетоне.

Ртутные термометры обладают точностью и чувствительностью, однако они очень хрупкие, плохо переносят толчки и вибрацию.

Кроме того на практике для измерения температуры бетона применяют и термопары - спай двух разнородных проводников (полупроводников), принцип действия которых основан на возникновении электродвижущей силы в цепи двух разных металлов при различии температур мест спая и свободных концов. Существенным недостатком термопар является инерционность датчика, вследствие помещения термопар в защитный корпус, защищающий прибор от механических повреждений.

Терморезисторы, также часто применяют при измерении температуры бетона, в основе действия которых лежит зависимость электропроводности металлов и полупроводников от температуры.

Также существует измерение температуры бетона с помощью СВЧ датчиков, инфракрасным методом и другие способы. Но данные приборы не получили широкого распространения при производстве бетонных работ, так как довольно сложны в использовании и точность измерения зависит от множества посторонних факторов.

В настоящее время нет регламента мониторинга температуры прогреваемого бетона, так как нет требований по количеству точек контроля. В тоже время, качество бетонных и железобетонных конструкций закладывается именно в процессе укладки и температурного выдерживания конструкций. Также следует обратить внимание на технику и технологию организации контроля температуры.

Для измерения температуры бетона применяют стеклянные градусники или относительно дорогие термопреобразователи сопротивления. В свежем бетоне устраивают скважины, в которые помещаются металлические гильзы, заливаемые минеральным маслом. В эти гильзы периодически помещают приборы для измерения температуры бетона.

Между замерах гильзы должны закрываться пробками. Такой метод измерения достаточно неудобен по нескольким причинам:

- Небольшая глубина расположения (до 300 мм) термометров. При изготовлении массивных мостовых опор, например, это не позволяет проводить контроль температуры бетона по всему объему изделия.
- Большая продолжительность измерений. Меняя точку измерения, приходится каждый раз ждать, когда термометр для замера температуры бетона придет в тепловое равновесие с измеряемой средой.
- Необходимость использования дорогостоящих стационарных вторичных регистрирующих приборов для измерения температуры бетона.

Анализ публикаций и исследований последних лет показывает, что исследования данной проблемы ведутся активно и наблюдаются процессы внедрения современных систем мониторинга отечественного производства.

В работе Журова Н.Н. и Комиссарова С.В. изучена возможность применения «специального приборного комплекта для множественных измерений в комплексе с приборами дистанционной инфракрасной термометрии» [16].

Изготовление монолитных железобетонных сооружений подразумевает постоянный контроль температуры бетона в различных точках изделия. Это связано с изменением физико-механических свойств материала с течением времени. Прочность бетона напрямую связана с температурным режимом его приготовления. По измерениям температуры в различных точках производится прогнозирование застывания бетонного монолита. Особенно это актуально в зимнее время, когда производится обогрев крупных строительных конструкций (опоры мостов, гидротехнические сооружения).

С целью усовершенствования мониторинга температуры бетона предлагается внедрение отечественных разработок в производство. В частности, применение автономных температурных регистраторов с возможностью записи и хранения измерений.

Важность обеспечения качественного контроля температурных параметров электропрогрева обусловлена влиянием температурного режима на напряженно-деформированное состояние бетона.

Не допускается резкое повышение или понижение температуры из-за риска трещинообразования. Скорость изменения температуры не должна превышать $5^{\circ}\text{C}/\text{ч}$.

Практическая организация мониторинга температуры должна основываться на следующих принципах:

- персональная ответственность за обеспечение соблюдения режима термообработки бетона;

- научная организация труда, обучение рабочих и лиц, ответственных за производство работ, методам и способам контроля, правилам установки приборов и монтажа оборудования;

- грамотная расстановка температурных датчиков в теле конструкции, выбор наиболее прогреваемых и холодных точек с целью получения обширных данных о температуре конструкции позволит повысить равномерность температуры;

- использование датчиков температурно-прочностного контроля по типу TRM [16];

- внедрение внутренних стандартов организации в области зимнего бетонирования;

- разработка методики оформления отчетной документации в автоматизированном режиме;

- анализ и статистическая обработка данных результатов измерений температуры.

- создание проектов производства работ с четкими указаниями относительно количества точек и мест контроля температуры, организации мониторинга на основе экспертных данных;

- отдельное внимание к безопасности осуществления мониторинга.

Современные приборные комплекты позволяют применять датчики в резиновых оболочках, погружаемых в бетон.

Датчики подключаются к прибору с оцифровкой данных, выводом температурных значений на экран и возможностью подключения к компьютеру.

Одним из таких комплексов мониторинга температуры термообработки бетона является система «Терем 4»(Приложение Б). Данная система обладает автономным типом регистрации температуры и является методом усовершенствования технологичности зимнего бетонирования в целом. Датчики устанавливаются непосредственно в бетон.

Назначение и область применения.

- мониторинг режимов термообработки конструкций при монолитном бетонировании на строительных площадках;
- контроль процессов ТВО бетона, автоклавной обработки материалов, сушки древесины;
- мониторинг высокотемпературных процессов.

Система мониторинга состоит из центрального блока, 8- и/или 16-канальных адаптеров, линий связи центрального блока с адаптерами, адаптеров с датчиками (см. рисунок 3.4) и сервисной компьютерной программы.

Датчики температуры и влажности сгруппированы по 8(16) штук и подключаются к отдельным адаптерам, которые выполняют функции преобразования, хранения и передачи данных. Центральный блок обеспечивает сбор, анализ и хранение данных с адаптеров.

Достоинства данного устройства:

- высокая точность;
- мобильное исполнение;
- малые габариты, компактность;
- автономное питание;
- связь с ПК.

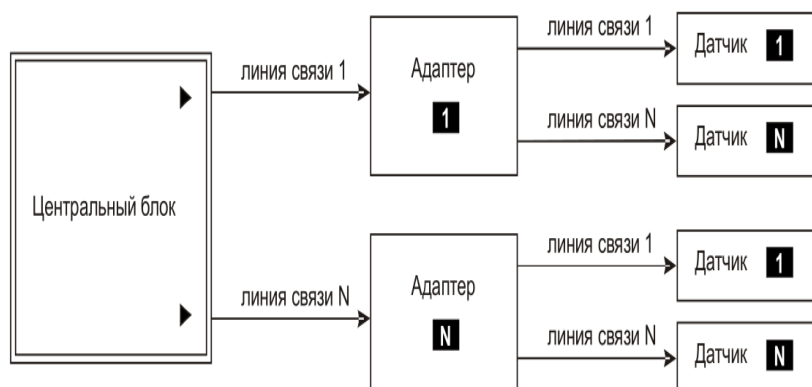


Рисунок 3.4 – Структурная схема

Основные функции:

- индикация информации о текущих значениях параметров (температура, влажность) и архива;
- задание (изменение) параметров регистрации процессов: время цикла, период отсчетов, время старта;
- просмотр результатов регистрации в цифровой и графической форме, как в процессе работы, так и по окончании измерений;
- отображение информации на графическом дисплее с подсветкой;
- контроль состояния аккумуляторных батарей;
- выбор языка текстовых сообщений;
- интерфейс RS-232.

Система состоит из микропроцессорного центрального блока, соединенного четырех проводной линией связи с адаптерами связи и датчиками. Измерение температуры производят каждые 2 часа, количество датчиков устанавливают с расчетом один на 50 м² площади перекрытия.

Передача от центрального устройства к адаптеру производится информационным способом.

Все компоненты центрального устройства управляются с помощью микроконтроллера, с помощью которого происходит ввод данных через клавиатуру, хранение информации (см. рисунок 3.5) в памяти устройства, счет календарного времени, подключение ТЕРМ4 к персональному компьютеру, срабатывает включение и выключение, воспроизведение данных на дисплее устройства.

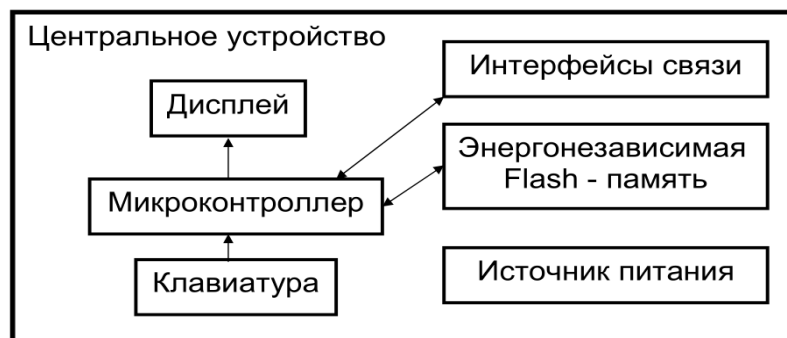


Рисунок 3.5 – Структурная схема центрального устройства

Технические характеристики устройства:

1. Диапазон измерения температуры, С –50...+125...+800.
2. Диапазон измерения относительной влажности, % 0...100.
3. Погрешность измерения температуры, не более, % 1,0; 2,0.
4. Абсолютная погрешность измерения относительной влажности, не более, 3,0 %.
5. Количество каналов измерения (регистрации) до 256.
6. Типы адаптеров 8 / 16 канальный.
7. Количество каналов измерения влажности -1...8.
8. Память результатов, МБ, не менее - 1,0.
9. Период регистрации серии отсчетов:
 - минимальный, сек-20;
 - максимальный, час-18.
10. Время хранения информации при отключенном питании - не ограничено
Время измерения, серий*, не более, с-5.
11. Способ отображения информации цифровой, графический.
12. Программирование режимов с клавиатуры.
13. Длина линий связи, м 5...500.
14. Интерфейс: RS-232.
15. Питание Ni-MH аккумуляторы, 2 шт.
16. Габаритные размеры, мм: центральное устройство:
- адаптер 8 канальный/16 канальный 150; масса, не более, кг 0,6.

Программа компьютерной обработки данных.

Программный продукт позволяет производить просмотр, сохранение и распечатку отчетной информации о температуре и влажности, которые сохраняются в ходе регистрации автоматически в энергонезависимой памяти устройства. Взаимообмен данными устройства и компьютера производится с применением стандартного интерфейса RS-232.

Блок управления является логическим контроллером и состоит из: центрального процессорного устройства(15), блока питания(16), блока АЦП

17, блока ЦАП 18, блока дискретных входов 19, блока дискретных выходов 20, шин данных и управления 21, блока таймера реального времени 22, блока памяти 23, блока входа быстрых счетчиков и прерываний 24 и блока последовательного интерфейса 25.

Температурные датчики наружного воздуха 7 подключены к входу 1 и 2 командного блока, соответственно. Датчики температуры бетона в теле конструкции 10, температуры бетона в контактной зоне с наружным щитом термоактивной опалубки 8, внутренним щитом 9 подключены к входу 3 и 4, 5 командного блока, соответственно. Датчик прочности бетона 11 подключён к входу 6 командного блока. Датчик потребляемой электрической мощности строительной площадки 15 подключён к входу 7 командного блока. Вычислительное устройство 3 подключено к выходу 3 командного блока 2. Регулятор температуры наружного щита термоопалубки 4 подключён к выходу 1 командного блока 2. Регулятор температуры внутреннего щита термоопалубки 5 подключён к выходу 2 командного блока 2. Командный блок 2 подключён к выходу 1 вычислительного устройства.

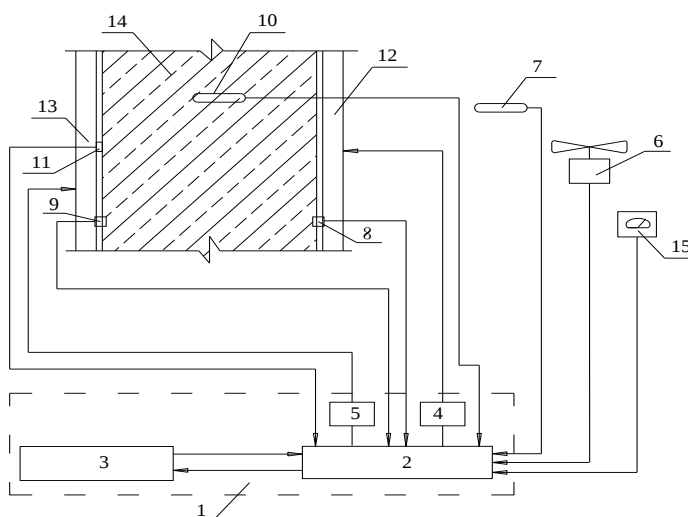


Рисунок 3.6 – Блок-схема системы автоматизированного управления температурного режима бетона в термоактивных опалубках

Принцип действия системы следующий: Сначала контрольный блок запрашивает начальные параметры (класс бетона, размеры конструкции и

т.д.), необходимые для контроля. После получения этих данных посылается команда на включение температурных датчиков (наружного воздуха, бетона, в теле конструкции). Затем в зависимости от параметров датчиков устройство формирует оптимальный температурный режим термообработки бетона.



Рисунок 3.7 – Блок-схема алгоритма функционирования системы

Далее микропроцессор создает массив «термообработки бетона конструкции $\{t_i=f(x)\}$ и массив значений электрических характеристик $(P_i=f(T))$.

После формирования массива значений электрических характеристик $(P_i=f(T))$ осуществляется запрос системы о максимуме электрической мощности отведенной для термообработки бетона на строительной площадке $(P_{\text{макс}})$. Вычислительное устройство осуществляет сравнение электрической мощности отведенной для термообработки бетона на строительной площадке $P_{\text{макс}}$ с необходимой для термообработки электрической мощностью, для текущего периода обогрева.

Регуляторы температуры поддерживают и ограничивают заданные вычислительным устройством значения температуры» [31].

3.3 Оценка эффективности предлагаемых мероприятий

Для определения эффективности разработанной термоактивной опалубки не менее важными являются и экономические показатели.

Для воплощения в жизнь разработанной конструкции опалубки с системой контроля температурного режима Терем 4 требуются следующие плановые затраты.

Экономическая эффективность достигается путем появления дополнительной прибыли и сокращения сроков строительства.

Сравнительная экономическая эффективность осуществлена с помощью анализа себестоимости, вложений, срока строительства.

Экономический эффект от внедрения разработанной опалубки с системой контроля температурного режима Терем 4 достигается путем уменьшения периода термообработки бетона, а значит и трудоёмкости строительного процесса в целом.

Для сравнения выбраны наиболее распространенные на сегодняшний день технологии бетонирования в России (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Анализ затраты при возведении монолитных конструкций
(в ценах на 2017 г)

Затраты	1 000 м ³ /тыс.руб.					
	Варианты					
	Базовые					Новые
	1	2	3	4	5	6
	Метод выдержки забетонированных конструкций					
	термос вопалуб кеизвод остойко йфанер ы	термос вутеплѐ нноймет алличес койопал убке	Обогревгреющим и проводами	Электродныйпро грев	Химическ иедобавк и- ускорител и	Обогрев в проекти руемой опалубк е
Материалы Опалубка	29,57	24,09	29,57	29,57	29,57	31,76
Утепление	4,60	4,64	4,38	4,38	4,38	4,56
Система нагревателе й	-	-	1,19	1,35	-	1,75
Хим.доб-ки	-	-	-	-	48,80	-
Элек-ды	-	-	-	68,57	-	-
Коммутиру ющий провод	-	-	0,99	3,57	-	2,21
Уст-ки для управления Электропит -ем	-	-	-	-	-	5,08
Итого	49,86	43,56	50,78	130,04	92,56	56,73
Электр.энер гия Прогрев	-	-	38,67	41,55	-	-
Обогрев	-	-	-	-	-	41,33
Итого на элктр.	-	-	38,67	41,55	-	41,33
З,П	69,76	51,39	72,78	121,34	71,45	51,32
Сумма затрат, тыс.руб.	101,67	91,3	151,67	245,55	151,77	141,55
Общие затраты, % к проектируе мой опалубке	76%	63%	106%	182%	110%	100%

Расчет экономии затрат:

$$\mathcal{E} = M.p * \mathcal{E}.M * 3.П * Д.З * Н.Т * У.П, \quad (3.1)$$

где:

$M.p$ - экономия по статье «Материальные ресурсы» и рассчитывается по формуле:

$$M = B - H, \quad (3.2)$$

где:

B - расход по статье «материальные ресурсы» существующих технологий;

H - расход по статье «материальные ресурсы» разрабатываемой опалубке (вариант 6)).

$3.П$ - экономия по статье «Основная заработная плата»;

$\mathcal{E}.M$ — экономия по статье «Эксплуатация машин»;

$Д.З$ — экономия накладных расходов за счет сокращения основной заработной платы;

$Н.Т$ — экономия накладных расходов, зависящих от трудоёмкости;

$У.П$ — экономия условно-постоянных расходов.

Для сравнения заработной платы при использовании базовых технологий и проектируемой воспользуемся формулой:

$$3.П.=B - H, \quad (3.3)$$

где:

B –зарплата рабочих при использовании основных технологий из таблицы 3.1 варианты 1-5;

H - зарплата рабочих при использовании проектируемой опалубки (вариант 6).

Для расчета статьи «эксплуатация машин» выполнен подбор необходимого оборудования для выполнения бетонных работ.

Сокращение электроэнергии вследствие аренды крана и бетононасоса, обработка бетона обеспечивает дополнительную прибыль.

Расчет экономии электроэнергии на термообработку бетона:

$$\Xi = O * C * (P_{\text{б}} - P_{\text{н}}), \quad (3.4)$$

где:

O - объем бетона общий, м;

C - стоимость 1 кВт-часа электроэнергии, руб;

P_б, P_н - расход электроэнергии на 1 м³ бетона из таблицы 3.1, кВт-час/м

Сокращение заработной платы обеспечивает уменьшение статьи накладные расходы, расчет которых выполнен по укрупненному показателю (20%).

Расчет накладных расходов от уменьшения трудоемкости работ:

$$\Xi = C * P * H, \quad (3.5)$$

где:

C_с— сокращение среднесписочного количества рабочих, чел.;

P — среднее количество отработанных дней в году одним рабочим, дн.;

H — норма накладных расходов строительно-монтажных работ 1 чел.-дн.

Совершенствование монолитных технологий позволяет получить сокращение условно-постоянных расходов.

Статья условно-постоянных расходов определяются:

Материальные ресурсы— 1 %,

Эксплуатация машин— 15 %,

Накладные расходы - 50 %,

Материальные ресурсы (6 вариант)

$$19,6/100 \cdot 1 = 0,92 \text{ руб/м}^3$$

Эксплуатация машин (6 вариант)

$$102,55/100 \cdot 15 = 16,78 \text{ руб/м}^3$$

Накладные расходы (6 вариант)

$$89,33/100 \cdot 50 = 41,55 \text{ руб/м}^3$$

Для определения уменьшения условно-постоянных расходов воспользуемся формулой:

$$У.П = N_{уп}(1 - T_n/T_6), \quad (3.6)$$

где:

T_n, T_6 — сроки строительства (год, месяц, день).

Дополнительная прибыль рассчитана по формуле:

$$\Xi = C_6 - C_n, \quad (3.7)$$

где:

C_6, C_n — себестоимость вариантов 1-5 и 6.

Сравнительная себестоимость работ представлена в табл. 3.2, итоговый результат - в табл. 3.6.

Таблица 3.6 — Сравнительная себестоимость работ монолитных конструкций, тыс.руб.

Показатели	Наименование технологий					
	Эффект термоса (опалубка фанера)	Эффект термос (опалубка + утеплитель)	Обогрев греющими проводами	Электродный прогрев	Хим.добавки.	Обогрев в проектируемой опалубке
1. Основные затраты: матресурсы	41,67	29,67	78,63	147,89	85,33	79,34
зараплата	61,67	50,35	71,56	121,45	59,44	51,78
Эксп-ция машин	124,67	126,77	123,77	132,67	98,33	97,67
Итого	234,55	210,77	267,74	346,78	245,90	231,55
2. Накладные расходы от: основной зпработчих	13,67	10,01	15,89	19,31	15,78	10,5
трудоёмкости работ	9,67	9,89	9,78	13,98	9,01	8,99
от срока троительства	59,33	70,45	71,07	61,33	49,99	54,78
Итого	90,37	91,49	90,90	92,55	69,89	72,99
Итого себестоимость	301,66	310,56	378,90	489,11	298,55	283,48

Таблица 3.7 — Экономический эффект проектируемой опалубки

Показатели	Ед. Изм	Наименование технологий					
		Эффект термоса (опалуб ка фанера)	Эффект термос (опалбу ка + утеплит ель)	Обогрев греющим и проводам и	Электродны й прогрев	Хим.доба вки.	Обогрев проекти руемой опалубк е
Трудоёмкость произв-ва бетон. работ	чел.- дн	503,80	528,20	531,40	610,90	415,20	421,00
Повышение трудоёмкости производства бетон. работ	%	119,7	125,5	126,2	145,1	98,6	-
Продолжительност ь производства бетон. работ	Дн.	50,38	44,02	33,21	38,18	34,60	26,31
Сравнительная себестоимость строит. монтаж. работ	тыс. руб	295,12	285,48	347,08	454,89	312,83	303,95
Увеличение себест-ти строит. монтаж. работ на первом цикле оборач-ти	%	97,1	93,9	114,2	149,7	102,9	-
Увеличение себест ти строит. монтаж.х работ на втором цикле оборач-сти проектируемой опалубки	%	112,3	116,7	121,7	149,3	115,7	-
Снижение эконом.эффек- тина втором цикле оборачив- ти проектируемой опалубки	%	4,0	5,5	14,6	28,4	3,2	-

Таблица 3.8 — Стоимость греющей разработанной опалубки

№ п/п	Материал	Стоимость 1м ² /р , м, шт.	Расчет материала для опалубке	Стоимость
1	Сталь 2 мм	800 р на м ²	2,63м ²	2104 р
2	Утеплитель 10 мм	600 р на м ²	4,26м ²	2580 р
3	ТЭНы диаметром 13мм	150 р на шт	6 шт	900 р
4	Труба профильная 100*60*3мм	320 р на м	8,1 м	2570 р
5	Труба профильная 40*30*3мм	145 р на м	8,1 м	1175 р
	Итого			9329 р

Анализируя технико-экономические показатели можно сделать вывод, что выявлена положительная экономическая эффективность разработанной опалубки в вариантах 3,4 и 5 уже на первом цикле оборачиваемости.

Однако высокие первоначальные затраты (покупка нового оборудования, в том числе термоэлектрические щиты, система Терм4, персональный компьютер и т.д.) по вариантам 1 и 2 на первом цикле оборачиваемости обеспечивают отрицательные показатели дополнительной прибыли.

По вариантам 1 и 2 дополнительная прибыль становится положительной уже на втором цикле оборачиваемости, так как нет высоких первоначальных затрат.

Таким образом рентабельность проекта составила 16,1%. Применение разработанной конструкции термоактивной опалубки с системой контроля температуры Терм4 обеспечит строительной компании дополнительную прибыль. Установлено снижение общей трудоёмкости бетонных работ в пределах 19,2 %. Экономическая эффективность использования термоактивной опалубки, проектируемого типа, с системой контроля Терм 4, доказана результатами произведенных расчетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях развитие строительной сферы требует внедрения передовых технологий, направленных на снижение себестоимости и ускорения возврата инвестиций. В части изготовления бетонных конструкций различного назначения наиболее перспективным представляется монолитное строительство. Строительство как жилых, так и общественных зданий такого типа демонстрирует преимущества с экономической и технологической точек зрения, т.к. сокращает период возведения объектов.

Процесс строительства «коробки» монолитного дома можно представить, как совмещение последовательно осуществляемых процессов устройства опалубки и арматуры, а также производства бетонных работ и надзорных мероприятий. Особенности построения объектов из монолитного бетона и железобетона связаны со сложностями выполняемых работ и управления их качеством.

В результате выполненного исследования сделаны выводы:

1. Установлена необходимость внедрения новых и усовершенствованных технико-технологических решений в практику зимнего бетонирования монолитных конструкций с термоактивной опалубкой.

2. Выявлено, на основании имеющихся научных и методических публикаций по теме исследования, отсутствие единого подхода к вычислению необходимой требуемой мощности прогрева опалубки. Вычисления с применением традиционных формул и систематизирующих таблиц дают приблизительный результат.

3. Определен недостаток способов оценки показателей процесса электронагрева опалубки и бетона, в связи с отсутствием учета временных и температурных параметров интенсивности реакции гидратации, а также в

связи с колебаниями свойств бетона в процессе нагрева вследствие неравномерности температурных полей.

4. Проанализированы современные конструкции термоактивных опалубок, отмечена сложность их конструкций и трудности в ходе их эксплуатации. В угловых и стыковых зонах конструкции могут образовываться места с неплотным прилеганием нагревательного элемента к палубе термощита. Это осложняет технологию бетонных работ, приводит к нарушению равномерного прогрева поверхности, что влечёт нарушение качества прогрева бетона.

5. Установлена, на основе аналитических исследований нормативных данных в части контроля термических воздействий на бетон, необходимость перманентного мониторинга температурных изменений современными средствами автономного автоматизированного контроля для достижения требуемых показателей качества бетонных изделий.

6. Термообработка бетона в греющей опалубке с использованием ТЭНов является более технологичной по сравнению с существующими методами. Предлагаемая греющая опалубка в сравнении с существующими аналогами имеет высокий срок службы; возможность свободного размещения материала в соответствии с требованиями рационального обогрева; цена на производимую термоопалубку существенно ниже (используется не металл, а его напыление), чем цены на существующие технологии; энергозатраты на 30 – 40% меньше.

7. Произведен расчет технико-экономических показателей проектируемой опалубки. В результате расчета рентабельность составила 16,1%. Применение разработанной конструкции термоактивной опалубки с системой контроля температуры Терм4 обеспечит строительной компании дополнительную прибыль. Использование фольгированного утеплителя ТехноНиколь обеспечивает дополнительный эффект термоса, что позволит экономить лучистую энергию на 80-98%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арбенъев, А.С. Четыре принципа синергобетонирования с электроразогревом смеси; [Текст] / А.С. Арбенъев // Строительные материалы,оборудование, технологии XXI века. — 2013. - № 10. 16-18 с.
2. Арбенъев, А.С. От электротермоса к синергобетонированию; [Текст] / А.С. Арбенъев. - Владимир: ВлГУ, 2016. – 272 с.
3. Арбенъев, А.С. Синергобетонирование - четвертая технология бетонирования с электроразогревом смеси; [Текст] / А.С. Арбенъев // Строительные материалы. — 2013. - № 5 - 21-24 с.
4. Арутюнов, С.Г. Совершенствование технологии уплотнения при бетонировании тонкостенных конструкций; [Текст]: автореф. дис. ... канд. тех. наук. / С.Г. Арутюнов. - Москва, 2015. -18 с.
5. Алтыкис, М.Г. Повышение физико-механических свойств бетонов электрохимической активацией воды затворения; [Текст] /М.Г. Алтыкис, Р.З. Рахимов. // Изв. Вузов, Строительство. - 2012. - №3. - 76-82 с.
6. Арбенъев, А.С. Четыре принципа синергобетонирования с электроразогревом смеси; [Текст] / А.С. Арбенъев // Строительные материалы,оборудование, технологии XXI века. — 2001. - № 10. 16-18 с.
7. Атаев, С.С. Технология индустриального строительства из монолитного бетона; [Текст] / С.С. Атаев. - М.: Стройиздат, 1999. 33 с.
8. Афанасьев, А.А. Интенсивные технологии монолитного домостроения; [Текст] / А.А. Афанасьев, Ю.А. Минаков // Сб. материалов науч.-практ. конф, вузов г.Москвы «Потенциал московских вузов и его использование в интересах города. Критические технологии в строительстве». -М.: УНИР МГСУ, 2014. 2-5 с.
9. Афанасьев, А.А. Интенсификация работ при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона; [Текст] / А.А. Афанасьев — М.: Стройиздат, 1990. -384 с.

10. Афанасьев, А.А. Термоактивные опалубки в монолитном домостроении; [Текст] / А.А. Афанасьев, Ю.А. Минаков // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века №7-8 (9), 2014. 26-27 с.
11. Афанасьев, А.А. Интенсификация работ при возведении зданий и сооружений 2015. -384 с.
12. Афанасьев, А.А. Термоактивный низко вольтовый опалубочный щит; [Текст] / А.А. Афанасьев, Ю.А. Минаков // Патент № 2125635. Государственный реестр изобретений. 2014. - 5 с.
13. Афанасьев, А.А. Интенсификация работ при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона; [Текст] / А.А. Афанасьев - М.: Стройиздат, 2010. – 384 с.
14. Афанасьев, А.А. Технология импульсного уплотнения бетонной смеси; [Текст] / А.А. Афанасьев. - М.: Стройиздат, 2015.-168 с.
15. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона; [Текст] / И.Н. Аведов. - М.: Стройиздат, 2011. - 464 с.
16. Бабушкин, В.И. Гидратация цемента, активированного током высокого напряжения; [Текст] /В.И. Бабушкин, В.А. Матвиенко, С.Г. Васюкевич, Ю.А. Лагунов. // Изв. Вузов. Строительство. — 2013. - №2. 25-28 с.
17. Волосян, Л.Я. Тепло- и массообмен при термообработке бетонных изделий [Текст] /Л.Я. Волосян - Минск: Наука и техника, 2013. - 256 с.
18. Воробьев, В.А. Применение физико-математических методов в исследовании свойств бетонов; [Текст] / В.А. Воробьев, В.К. Кивран, В.П. Корякин. - М.: В.ш., 1977. -271 с.
19. Густав, О. Цифровые системы автоматизации и управления; [Текст] / Олссон Густав, ПианиДжангуидо //— СПб.: Невский Диалект, 2011. —557 с.
20. ГОСТ 7473-94. Бетонная смесь. Технические условия; [Текст]. - Взамен ГОСТ 7473-85; введ. 01.01.96. - М.: Изд-во стандартов, 2015. 17 с.

21. ГОСТ 18105-86. Бетоны. Правила контроля прочности; [Текст]. — Введ. 01.01.87. - М. : Изд-во стандартов, 1999. – 14 с.
22. ГОСТ 28570-90. Бетоны. Метод определения прочности по образцам, отобраным из конструкций; [Текст]. - Введ. 01.01.91. — М.: Изд-во стандартов, 1990. – 11 с.
23. ГОСТ 17624-87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности; [Текст]. - Введ. 01.01.88.- М.: ЦИТП, 1989. – 29 с.
24. ГОСТ 22690-88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля [Текст]. - Введ. 01.01.91.— М.: ЦИТП, 1999.-24 с.
25. Данилов, Н.Н. Режимы кондуктивного нагрева бетона с применением технических средств на основе низковольтных термоэлементов; [Текст] / Н.Н. Данилов, С М . Наумов, Ю.А. Минаков // Бетон и железобетон, 2013 . - № 11 - 11-13 с.
26. Динеску, Т. Скользящая опалубка; [Текст] / Т. Динеску, А. Шандру, К. Редулеску. - Изд. 2-е. - М.,Стройиздат, 2015. – 527 с.
27. Зулунов, И.М. Предварительный разогрев бетонных смесей в автобетоносмесителях с использованием тепловыделяющих добавок; [Текст]: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.23.08. / И.М. Зулунов. - Москва, 2014.-18 с.
28. Крылов, Б. Перспективные методы возведения монолитных железобетонных конструкций в зимних условиях; [Текст] / Б. Крылов // Стройка. - 2015. - № 3. -12-14 с.
29. Квашнин, А.Г. Управление электротепловыми процессами при разогреве смеси; [Текст]: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.23.08. / А.Г. Квашнин. — Новосибирск, 2013. -21 с.
30. Крылов, Б.А. Особенности возведения монолитных конструкций при отрицательных температурах; [Текст] / Б.А. Крылов, К.И. Сергеев, В.П. Филатов // Бетон и железобетон, 2015. - № 3. 4-5 с.

31. Киргизов, А.М. Совершенствование технологии монолитного домостроения на основе методов и средств автоматизации тепловой обработки бетона: дисс ... кандидата технических наук : 05.23.08. Нижний Новгород, 2005. – 149 с.

32. Семенова, Г.Д. Влияние асимметричного переменного тока на жидкость затворения цементных систем; [Текст] / Г.Д. Семенова, В.Д. Семенов, СВ. Образцов // Изв. Вузов. Строительство, 2000. - №10. 19-21 с.

33. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции; [Текст]: утв. Госстроем СССР 04.12.87: дата введ. 01.07.88. - М.: Г П ЦПП, 1996. - 192 с.

34. СНиП 12-01-2004. Организация строительства; [Текст]: утв. Госстроем России 19.04.2004: дата введ. 01.01.2005. - М.: ФГУП ЦПП, 2014.-25с.

35. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции; [Текст]: утв. Госстроем СССР 04.12.87: дата введ. 01.07.88. - М.:ГП ЦПП, 1996.- 192с.

36. Топчий, В.Д. Бетонирование в термоактивной опалубке; [Текст] / В.Д. Топчий. - М., Госстрой СССР, ЦНИИОМТП, 1977. - 314 с.

37. Топчий, В.Д. Пути развития технологии монолитного железобетона и задачи комплексной механизации и интенсификации производства работ; [Текст] / В.Д. Топчий, А.В. Лагойда, Н.Н. Данилов // Повышение эффективности и качества бетона и железобетона: тез. докл. науч.-техн. конф. - М.: Стройиздат, 2015. 213-220 с.

38. Типовая технологическая карта на бетонные и железобетонные работы. Возведение стен жилых домов в скользящей опалубке; [Текст]: ЦНИИОМТП.-М.,2012.-21с.

39. Топчий, В.Д. Бетонирование в термоактивной опалубке; [Текст] / В.Д. Топчий.-М: Госстрой СССР, ЦНРШОМТП, 2007. -314с.

40. Тищенко, К.Ю. Сборник по технологии бетонных работ в зимних условиях; [Текст] / А.И. Гныря, А.П. Бояринцев, С.В. Коробко – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 412 с.

41. Шишкин, В.В. Техничко-экономические показатели методов электротермообработки бетона; [Текст] / В.В. Шишкин, С Б . Фенин // Бетон и железобетон, 1980. - № 1, 31-33 с.
42. Ходыкин, В.В. Автоматизация технологических процессов производства бетонных работ в монолитном домостроении; [Текст]: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.13.07. / В.В. Ходыкин. — Н. Новгород, 2013.-22 с.
43. Хансен, Ф. Метод вычисления разностей температур в бетоне / Ф. Хансен, А. Нильсен // третий Международный симпозиум по зимнему бетонированию. Espoo, 1985. 135 с.
44. Шмигальский, В.Н. Проблемы интенсификации и повышения качества виброуплотнения бетонных смесей; [Текст]: автореф. дис. ... док. тех. наук. / В.Н. Шмигальский. - Новосибирск, 2016. -32с.
45. Kohli, D Analysis of Spatial Mechanisms via Successive Screw Displacement; [Text]. / D. Kohli, A. Soni, H. Kinematic Trans. ASME, 2, series B, 2004, pp. 739—747 p.
46. Lee, T. W. Yang D. C. H. On the Evaluation of Mechanical Manipulator; [Text]. / T. W. Lee, D. C. Yang H. Trans. ASME J. Mechanism, Transm. Autom. Design, 105, 2005, pp 70 - 77 p.
47. Paul, R. P. Manipulator Cartesian Path Control; [Text]. / R. P. Paul IEEE Trans. Systems, Man, Cybern, SMC—9, No. 11, 2006, pp. 702 - 711 p.
48. Uicker, J.J. An Iterative Method for the Displacement Analysis of Spatial Mechanisms; [Text]. / J. J. Uicker, Jr J. Denavit, R. S. Hartenberg -Trans. ASME, J. Appl. Mech., 31, Series E, 2011, pp. 309—314 p.
49. Hansen, F. Method for quick calculation of temperature differences in concrete members; [Text]. / F. Hansen, A. Nielsen // Third international RILEM symposium on winter concreting. Espoo, 2012. 135 p.

Приложение А

Утеплитель «Технониколь»



Приложение Б

Центральный блок и адаптер 8-канальный «Терем -4»

