

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

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(наименование кафедры)

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки)

Проектирование интеллектуальных систем, зданий и сооружений

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему ««Разработка и исследование системы автоматизированного нагрева
бетонных конструкций»»

Студент

Р. В. Савин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

М. В. Позднов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы

к.т.н., доцент, А. А. Шевцов

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 2019г.

Допустить к защите
Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент, А. А. Шевцов

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 2019г.

Тольятти 2019

Содержание

Введение	4
1 Производство железобетонных изделий и применение в данной области систем автоматизированного обогрева.	7
1.1 Процессы отвердевания бетона.....	8
1.2 Обогрев бетона	10
1.3 Процесс изготовления мостовых балок.....	12
2 Описание автоматизированной системы обогрева опалубки для мостовых балок	15
2.1 Нормы и методы при изготовлении железобетонных конструкций	18
3. Обзор систем обогрева и анализ их устройства	19
3.1 Выбор терморегулятора.....	24
3.1.1 Механические терморегуляторы.....	25
3.1.2 Электромеханические терморегуляторы.....	25
3.1.3 Электронные терморегуляторы.....	26
3.2 Электронные терморегуляторы, их виды и связь с контроллером.....	27
4. Способы терморегулирования	33
4.1 Физика процессов терморегулирования.....	38
4.2 Выбор датчика температуры	39
5 Разработка греющего элемента	42
5.1 Соединение нагревательных элементов и их подключение к питанию.....	44
5.2 Коммутация нагревательных линий	45
6 Описание конструкции лабораторной модели	45
6.1 Расчёт параметров модели.....	49
6.2 Модуль автоматического управления, электрическая часть, принцип работы.....	58
7 Разработка и внедрение на производство системы автоматизированного обогрева опалубки для мостовых балок.	59
Заключение.....	72
Список используемых источников	74

Введение

Системы автоматизированного обогрева находят свое применение в производстве железобетонных конструкций. В частности, такие системы нужны для производства мостовых балок. Нагревательные элементы устанавливаются в опалубку и прогревают через нее бетон до заданной температуры, а в дальнейшем поддерживают ее. Именно такая разработка и будет описана в данной диссертации.

Проектируя систему терморегулирования, мы сталкиваемся с задачей разработки структуры системы и выбора параметров её элементов таким образом, чтобы система была устойчива[1] и соответствовала требуемым показателям.

Нам необходимо задать параметры объекта управления, а затем определиться со структурой и параметрами регулятора обеспечивающего управление объектом.

Обустройство системы обогрева любого типа подразумевает расходование источника энергии, и в каждом отдельном случае нужно учитывать имеющиеся у производства мощности.

Расходование может происходить по двум принципам: бесконтрольно и равномерно или контролируемо.

Преимущества первого варианта – крайняя простота и отсутствие необходимости устанавливать элементы контроля расхода.

Отсюда же вытекают и недостатки метода — нет адаптации под условия окружающей среда (температура на улице, и в помещении постоянно меняется, и при одинаковом расходе топлива сегодня может быть слишком жарко, а завтра – холодно) и расход теплоносителя неоправданный.

Преимущество второго варианта – как раз возможность экономить расходующиеся на отопление ресурсы, а, следовательно, и денежные средства. Недостаток – необходимость устанавливать дополнительное оборудование, служащее для регулирования расхода, и необходимость периодически контролировать его работоспособность.

Резюмируя сказанное выше, ясно что выбор в нашем случае нужно сделать в пользу второго варианта, в первую очередь в виду того что производство мостовых балок требует высокой точности и отлаженности производственного процесса и необходимо регулировать потребляемую мощность.

Как обоснования преимуществ регулируемой системы обогрева можно выдвинуть следующие утверждения:

1. Возможность регулировать распределение тепла по всей площади в условиях изменяющейся температуры окружающей среды;

2. Сокращение затрат энергии на нагрев и поддержание заданной температуры

3. Возможность автоматизировать процесс, в том числе с использованием сложных многокомпонентных программ нагрева/охлаждения.

Целью диссертационной работы является разработка системы автоматизированного нагрева железобетонных изделий, анализ ее работы и внедрение получившейся разработки на производство.[2]

Задачи работы:

1. Подготовить теоретическую базу, проанализировать процессы регулирования, изучить аналоги, произвести выбор и структурирование компонентов системы.

2. Разработать нагревательный элемент, который будет соответствовать показателям мощности, пожаробезопасности и впишется в конструкцию опалубки.

3. Разработать схемы соединений нагревательных элементов.

4. Разработать систему управления.

5. Разработать лабораторную модель, провести испытания и затем произвести анализ.

6. Описать алгоритмы работы.

7. Внедрить и протестировать систему в реальных условиях на производстве.

Научная новизна.

Данная работа осуществлялась в сотрудничестве трудового коллектива Научно-производственной фирмы «Спектрон». Система не имеет аналогов способных удовлетворить требования в столь узком направлении как производство мостовых балок. Данная разработка потребовала конструкторских и научных изысканий не производимых ранее. И здесь стоит заметить, что опалубки для мостовых балок и ранее обогревались электричеством, но применяемые системы не удовлетворяли технические и производственные условия, тем самым уступая место водяному и паровому обогреву. Взявшись за данную разработку, мы должны были с помощью технического усовершенствования и принципиально новых решений достичь преимущества перед имеющимися на рынке системами.

Структура диссертации.

Диссертация состоит из семи глав, в которых содержится информация, необходимая для решения поставленных задач.

Первая глава называется «Производство железобетонных изделий и применение в данной области систем автоматизированного обогрева». Эта глава состоит из трех параграфов, в которых описываются процессы затвердевания бетона, ГОСТы и нормативы по производству железобетонных изделий, приводится технология изготовления мостовых балок, а также описывается конструкция опалубки для них. В последнем параграфе данной главы проводится обзор и анализ существующих технологий и систем обогрева бетона.[3] Во второй главе подробно разбирается устройство систем предназначенных для управления обогревом. В параграфах, которые она в себя включает, проводится выбор терморегулятора для управления нагревательной системой, анализ процессов

терморегулирования, разбираются алгоритмы, способы управления и изотермические условия. В последнем параграфе данной главы проводится анализ и выбор датчика температуры. Следующая третья глава объясняет устройство обогрева, описывает выбор и разработку его элементов. Глава состоит из трех параграфов. В первом параграфе описывается разработка греющего элемента и ее результаты. Во втором параграфе объясняется выбор схемы соединений, ее особенности и принципы подключения силовой части системы нагрева. В третьем параграфе рассматривается общая схема нагревательного контура, количество отдельно управляемых линий обогрева и принцип расположения всей совокупности нагревательных элементов по площади опалубки. В четвертой главе приведены материалы и данные о разработке реальной модели. В двух параграфах, которые она в себя включает, описана конструкция и приведен расчет параметров. Пятая глава содержит информацию о программном обеспечении и алгоритмах управления. Шестая глава включает в себя испытания и эксперименты, материалы по ним и описание результатов. В седьмой главе рассказано о результате внедрения разработки на производстве. Приведен внешний вид готовой системы, описаны монтажные и пусконаладочные работы, а также результаты эксплуатации системы.[4]

1 Производство железобетонных изделий и применение в данной области систем автоматизированного обогрева.

Начиная работу над диссертацией и конструкторским проектом необходимо изучить область, в которой будет применяться наша разработка. В нашем случае это узкая сфера строительства, а именно производство мостовых балок. Такое производство должно иметь высокие критерии качества. Сложность процессов задействованных в нем имеет высокий уровень. Поэтому оборудование, конструкции и процессы должны быть выполнены в соответствии с жесткими требованиями.[5] Взвзвись за

разработку нашей автоматизированной системы обогрева, нам необходимо изучить данную сферу во всевозможных ее аспектах. Наша система должна иметь высокую точность регулирования, соответствовать нормам пожаробезопасности и электробезопасности. Быть удобной в управление и выполнять стоящие перед ней задачи без излишеств и недостатков. Что бы лучше понять, с чем нам предстоит иметь дело, необходимо изучить аналогичные системы и те что сходны по своему назначению.[6] Так же следует понимать принципы обогрева бетона и методы его реализации. В параграфах этой главы мы постараемся ответить на поставленные вопросы и задачи.

1.1 Процессы отвердевания бетона

Чтобы готовое изделие из бетона, после заливки, набрало необходимую проектную прочность и прослужило долгие годы, необходимо соблюдать температурный режим во время отвердевания. Оптимальная температура для схватывания бетона $+20^{\circ}\text{C}$, при данной температуре бетон набирает прочность за 28 суток. Но при применении технологий обогрева можно добиться ускорения процесса. Более того, при использовании технологии обогрева, изготавливать железобетонное изделие можно даже при минусовых температурах.[7] В этом случае необходимо создать изолированный тепловой контур.

Во время затвердевания в бетоне происходят различные процессы и нам необходимо в них разобраться. Когда бетонная смесь приготовлена, в его структуре начинают происходить химические реакции. Этот процесс называют гидратацией цемента, которая проходит две стадии:

- схватывание
- отверждение

В реакции схватывания участвуют алюминаты (C3A). В ходе чего появляются иглообразные кристаллы, которые связываются между собой. Спустя 6 — 10 часов из этих кристаллов образуется подобие скелета.[8]

С этого момента начинается отвердевание бетона. Здесь уже вступают в реакцию с водой клинкерные минералы (C3S и C2S) и начинает формироваться силикатная структура. В результате этой реакции образуются мелкие кристаллы, которые объединяются в мелкопористую структуру, что, по сути, и является бетоном.[9]

Температура бетона и окружающей среды сильно влияет на скорость гидратации. Если температура снижается с $+20^{\circ}\text{C}$ до $+5^{\circ}\text{C}$ время затвердевания бетона может увеличиться до 5 раз. Если же снижение температуры происходит дальше и стремится к 0°C , то течение реакций внутри бетона практически останавливается. При отрицательной температуре гидратация прекращается из-за того что вода замерзает. Как известно, вода при замерзании расширяется. Это приводит к увеличению давления внутри бетонной смеси и разрушению сформировавшихся связей кристаллов. Как следствие происходит разрушение структуры бетона. Также образовавшийся лёд обволакивает крупные элементы заполнителей смеси (щебень, арматуру), разрушая их связи между цементным тестом. Это приводит к ухудшению монолитности конструкции.[10]

При оттаивании воды процесс отвердевания возобновляется, но уже при деформированной структуре бетона.[11] Что может привести не только к отслоению арматуры и больших элементов заполнителя бетонной смеси, но и к трещинам. Естественно, прочность такой бетонной конструкции будет гораздо меньше расчетной.

Следует заметить, что чем раньше бетон подвергся замораживанию, тем меньше будет его прочность.

Поскольку в большей части территории России холодные климатические условия то необходимые прочностные характеристики можно получить только путем обогрева бетона.

Существуют различные способы обогрева бетона во время затвердевания при отрицательных температурах и для ускорения производственного процесса. Способы различаются по задачам, типу производимых работ и виду железобетонной конструкции.[12]

Сейчас строительный сезон длится круглый год. Plusовые температуры в теплый период значительно упрощают процесс. В холодное время приходится поддерживать комфортные условия для материалов и проведения работ.[13] Осуществлять заливку бетона при минусовых температурах невозможно без применения систем обогрева. Но здесь стоит отметить, что не только температура окружающей среды заставляет прибегать к применению обогрева, важно еще соблюдать высокий темп производства. Учитывая этот фактор, невозможно обойтись без применения обогрева, который позволяет значительно увеличить скорость изготовления железобетонной конструкции. Обогрев бетона – это комплекс мероприятий, направленных на предотвращение замораживания свежешеложеного бетона, ускорение процесса изготовления и поддержания оптимальных температурных условий для его отвердевания.[14]

Низкие температуры (ниже 5°C), вызывают кристаллизацию воды в составе раствора, препятствуют высыханию состава и приводят к замораживанию.

Кроме того, образование кристаллов льда в структуре бетона может послужить причиной образования давления в порах цементного раствора и возникновению трещин. Особое внимание нужно уделять моменту схватывания раствора и не допускать замерзания на этом этапе, потеря свойств может быть необратима. Необходимость поддерживать влажности в процессе укладки также имеет большое значение. При недостаточно высоких температурах высокая влажность способствует усилению эффекта замораживания и уменьшает эффект отвердевания.[15]

1.2 Обогрев бетона

Задача обогреть бетон возникает из-за необходимости набора проектной прочности в условиях низких температур окружающей среды, а также для ускорения производственного процесса. Климат в России требует соблюдения ряда мер во время проведения бетонирования.[16]

Наибольшая температура бетонной смеси для затвердения должна быть до 70 °С. Когда свежеприготовленный бетон будут укладывать в конструкцию, его температура может достигать 45 °С, но за время перевозки бетонной смеси на стройплощадку температура, как правило, колеблется в пределах 20...35 °С. Во время укладки и соприкосновения с опалубкой и арматурой, температура может упасть до +5... 10 °С и даже ниже. На это влияют погодные условия.[17]

Время нарастания температуры смеси сильно зависит от начальной температуры, толщины конструкции и скорости разогрева. Также важно учитывать какой вид обогрева применяется. Если бетон прогревается только на поверхности, чтобы прогреть среднюю часть конструкции, может потребоваться еще от 4 до 8 часов.[18]

Как правило, предпочитают применять двусторонний прогрев. Это связано с тем, что при одностороннем прогреве, происходит отток тепла с противоположной стороны обогрева. Скорость роста температуры может колебаться в пределах 5... 15 °С и не должна быть выше коэффициента модуля поверхности M_p , равным 15°С в час и 10°С в час при остывании. Резкий рост скорости приводит к температурным напряжениям и потере прочности. Колебания температуры во время прогрева не должно быть больше 5°С.[19]

Если прогреть бетон до 70 °С, с целью достижения прочности равной 50% от требуемой, для конструкции толщиной до 250 мм достаточно 20 -ти часового интервала, для прочности равной 70% от требуемой, нужно 28 часов.[20]

Временной интервал остывания бетона после прогрева сильно зависит от температуры воздуха и может сильно колебаться. При этом разность температуры бетона и окружающей среды не должна превышать 40 °С.[21]

1.3 Процесс изготовления мостовых балок

Мостовые балки применяются при конструировании мостов. Они изготавливаются различных форм и размеров под определённую конструкцию моста. Чем мощнее будет балка в конструкции моста, тем большую нагрузку он сможет выдерживать. Мостовые балки в конструкции моста изображены на рисунке 1.[22]

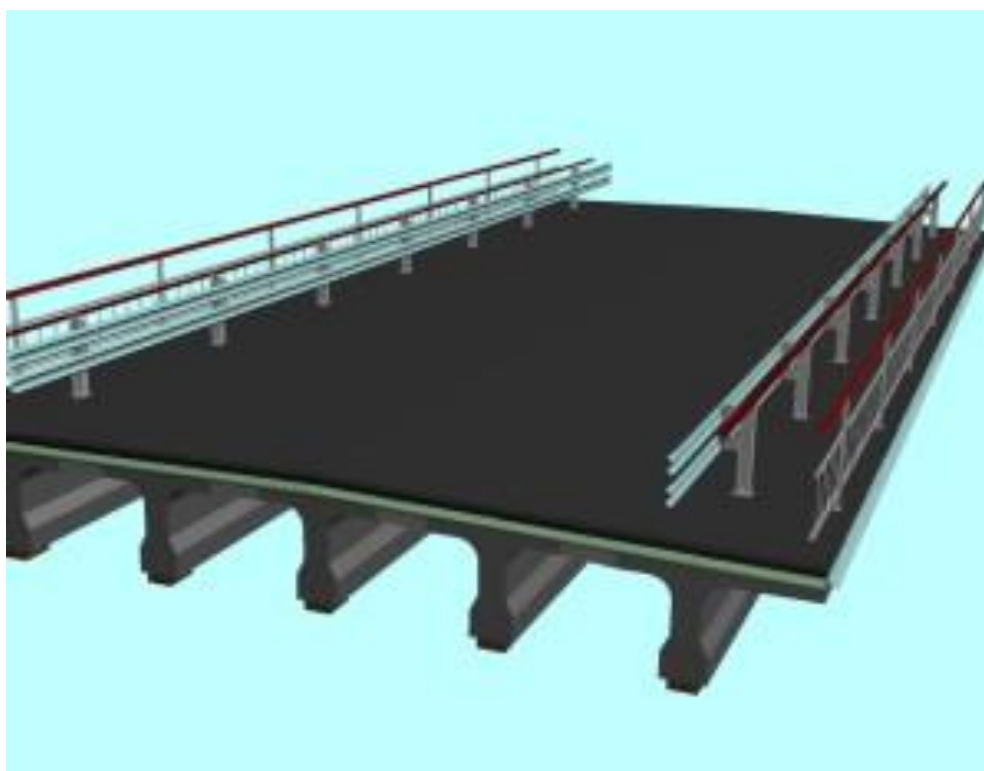


Рисунок 1 – Мостовые балки в сборе

Практически все производители мостовых балок используют при её изготовлении специальную стендовую технологию. Такая опалубка изображена на рисунке 2. Каждая подобная форма может за один раз изготовить только одну балку. Из-за того, что форма абсолютно не подвижная, все манипуляции с данной конструкцией осуществляются на

месте.[23] Затвердение балки также происходит в стендовой форме, что позволяет исключить возможность деформирования всей конструкции. Для того чтобы выпускать значительное количество мостовых балок, на заводе изготовителе предусмотрена большая площадь. Для высоких объемов производства необходимо разместить на территории цеха как можно больше стендовых форм.

Применение технологии преднапряжения при монолитном строительстве пролетов существенно уменьшает деформации и препятствует образованию трещин, что особенно важно, учитывая высокие эксплуатационные нагрузки дорожных развязок. Используя технологию «преднапряжения на бетон, со сцеплением» прямо на строительной площадке при помощи модульной опалубочной системы, можно изготовить преднапряженный железобетонный мостовой пролет.[24]

Для начала работ необходимо организовать любое твердое основание в непосредственной близости от стройплощадки (например, при помощи стандартных ЖБИ-панелей для стен), развернуть быстромонтируемый каркасно-тентовый ангар. При этом размер временного завода-ангара может быть очень небольшим, а высота всей конструкции не будет превышать 5 метров. При помощи мини-крана, опалубка устанавливается на высоту 1,5-2 метра и армируется ненапрягаемой арматурой. Посредством каналобразователей формируют сквозные каналы, в которые укладываются напрягаемые пучки, состоящие из стальных канатов, устанавливаются анкеры. После процесса бетонирования и набора бетоном определенной прочности, происходит натяжение стальных канатов гидравлическими домкратами. Далее внутренняя часть каналобразователей, заполняется специальным быстротвердеющим инъекционным раствором. Демонтаж обеспечивается с помощью стандартных винтовых замков-стяжек, система устанавливается на опоры-тележки, благодаря которым форму можно откатить и демонтировать краном. [25] При изготовлении балки требуется 4 часа для подъема температуры, 12 часов выдержки, 5-6 часов остывания (в

общей сложности при применении обогрева время изготовления занимает менее суток).



Рисунок 2 – Опалубка мостовой балки

Этапы производства

Вся технология производства мостовых балок делится на три основных этапа:

1. Подготовительный.
2. Арматурный.
3. Формовочный.

После того, как стендовая форма пройдет процесс термообработки, оператор мостового крана может раскрывать форму и освобождать готовые изделия. Контролёры оценивают качество заливки, и при необходимости указывает рабочим незначительные недочёты. Рабочие вручную устраняют некоторые дефекты:[26]

Устраняют наплывы бетонного раствора с поверхности готовой конструкции;

Затирают высококачественным раствором образовавшиеся раковины;

Обрезают металлические стержни.[27]

Готовое изделие при помощи мостового крана транспортируется в склад, где готовая продукция ожидает отправки.[28]

Теперь рабочие осматривают форму на наличие механических повреждений, и если таковых не наблюдается, то они приступают к очистке стендовой формы, подготавливая её к новой заливке. После того как форма очищена от остатков бетонной смеси, рабочие собирают её в единое целое и тщательно смазывают рабочую поверхность, чтобы бетон не прилипал к форме. Для нанесения ровного слоя смазки, рабочие используют пульверизатор, который способен равномерно распределить смазывающее вещество.[29]

2 Описание автоматизированной системы обогрева опалубки для мостовых балок

При изучении данного вопроса был обнаружен метод похожий на обогрев бетона пластинчатыми электродами изображенный на рисунке 3. В данном варианте обогревается не внутренняя сторона опалубки, а наружная. Иногда электроды располагают внутри самой опалубки во время ее строительства.[30]

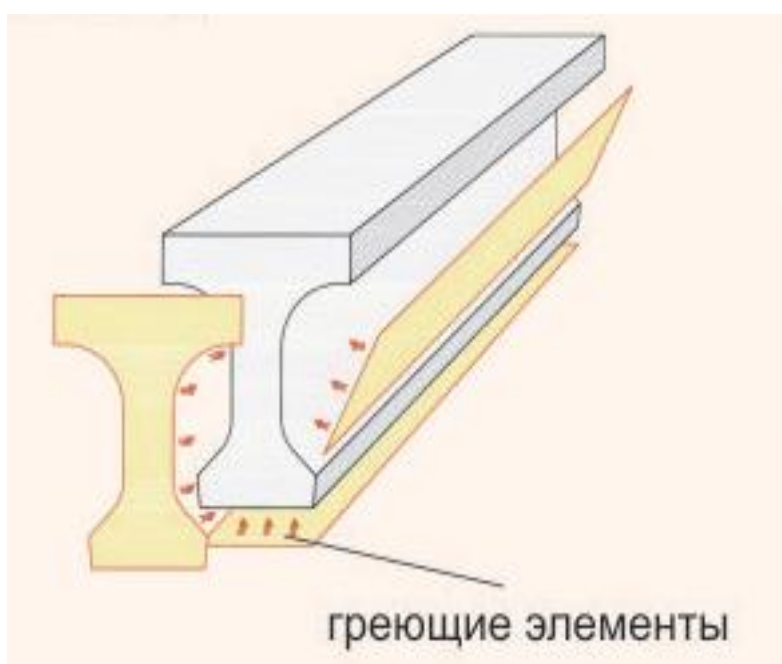


Рисунок 3 – Обогрев опалубки электродами

Обогрев опалубки электричеством уступает место другим технологиям. Это связано со сложностью конструкции, малым соприкосновением опалубки с бетоном и тем, что данная технология начала применяться недавно. Обогрев с внутренней стороны опалубки изображен на рисунке 4.

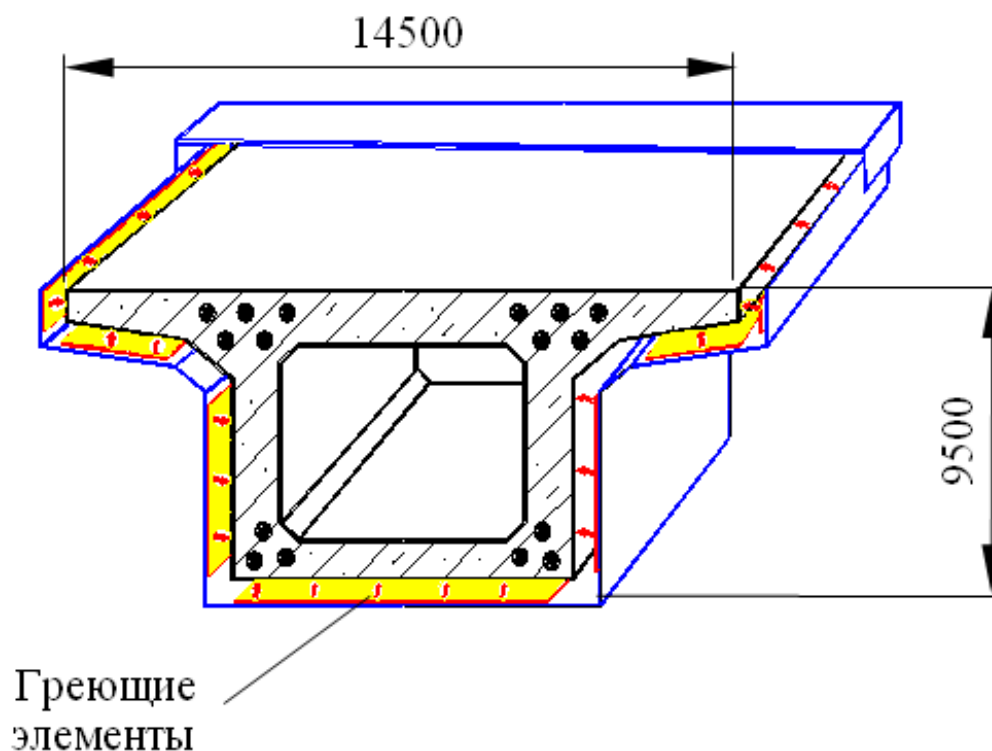


Рисунок 4 – Опалубка с внутренней системой обогрева.

Опалубочные системы с уже продуманной системой обогрева, существенно облегчают производственный процесс, потому что монтаж любого обогрева — трудозатратный вид работ, а подключение уже продуманной системы обогрева внутри опалубочных элементов экономит массу времени. [31]

Принцип такой системы должен заключаться в передаче тепла поверхностному слою бетона через металлическую стену от электронагревателей, находящихся в опалубке. [32]

Применение греющей опалубки в сочетании с системой регулирования способно существенно расширить применение электрического обогрева в данных целях и повысить КПД.[33]

Греющую опалубку можно применить для компенсации тепловых потерь бетонной конструкции и наиболее эффективно использовать для производства мостовых балок.

В конструкции таких опалубок применяются стандартные электрические нагреватели, а электрическое сопротивление коммутирующей разводки должно быть не менее 0,5 МОм.

Нагревательными элементами, в данном случае, могут выступать: гибкие тканевые, греющие провода и ТЭН.[34]

На расположение и способ крепления нагревателей может влиять режим обогрева, мощность, т. д.

Лучше чтобы нагреватели размещались вплотную это позволит распределять тепло равномерно, но здесь возникает необходимость более точного контроля за температурой обогрева, для того чтобы не происходили локальные перегревы. Отслеживание работы нагревателей позволит избежать температурной деформации и местных перегревов.[35]

Для более высокой скорости наращивания температуры и достижения равномерного температурного поля, следует использовать экраны из листов алюминия или утеплителя с отражающей поверхностью. Экран должен обладать высокой отражающей способностью. Такие экраны размещают до 15 мм от поверхности нагревателя.[36]

Исключить конвективную передачу между экраном и нагревателем можно путем установки перегородки, либо использовать двойные, или даже тройные экраны.

2.1 Нормы и методы при изготовлении железобетонных конструкций

Благодаря безошибочности действий с соблюдением технологического регламента можно добиться гарантированного качества конструкции. Условия профессиональных бетонных работ регламентируются:

- нормами и правилами СНиП 3.03.01-87;
- СНиП 3.06.04-91;
- несколькими другими документами, на основе которых разработаны строительные стандарты для районов с холодным климатом.

Запрещено выполнять прогрев бетона с отступлениями от проекта строительных работ.

Согласно нормам, СНиП 152-01-2003 качество бетонных изделий подтверждается после проведения контрольных мероприятий. Используется контроль:

- входной (проверяется соответствие смеси наличию всех составляющих);
- операционный контроль (производится во время выполнения действий укладки и прочих работ);
- приемочный контроль (проверка качества конструкции в целом).

Таким образом, проверяется правильность принципа бетонирования фундамента, возведения монолитных конструкций и изготовления железобетонных изделий.

3. Обзор систем обогрева и анализ их устройства

Существуют различные методы прогрева бетона. Следует понимать, что при применении технологий не всегда ведущим параметром становится цена. Зачастую при незначительном увеличении расходов получают результаты в разы качественнее и прочнее аналогов.

Исходя из различных факторов (наружная температура воздуха, тип конструкции, экономическая обоснованность применения и т. д.) применяются следующие технологии обогрева:

- термос;
- электроды;
- термоэлектроматы.
- греющая опалубка;
- Воздушный прогрев

Метод термоса изображен на рисунке 5.

Наиболее старый и сравнительно не дорогой метод выполнения бетонирования. Метод термоса, основан на эффекте гидратации. Этот способ заключается в том, что экзотермическое тепло, выделяемое во время затвердевания бетона, складывается с теплом бетона, полученного при производстве бетона на АБЗ.

Процесс бетонирования осуществляют так:

Подогретый бетон привозят на объект, стараясь сохранить имеющуюся температуру раствора, и укладывают в подготовленную заранее опалубку. Далее бетон укрывается теплоизоляцией.



Рисунок 5 – метод термоса

Такую технологию рекомендуют использовать в комплексе с химической добавкой.

Электродный обогрев изображен на рисунке 6.

Электродный обогрев бетона является простым и дешевым. Ток проходит через проводник, которым является бетон, и разогревает изнутри весь объем раствора. Метод отлично зарекомендовал себя в армированных и малоармированных блоках, ростверках фундамента.

Периферийный прогрев выполняют с помощью ленточных электродов, изготовленных из широких полос кровельной стали закрепленных на опалубке. В качестве стержневых электродов используют стальную гладкую арматуру толщиной от 5 мм.

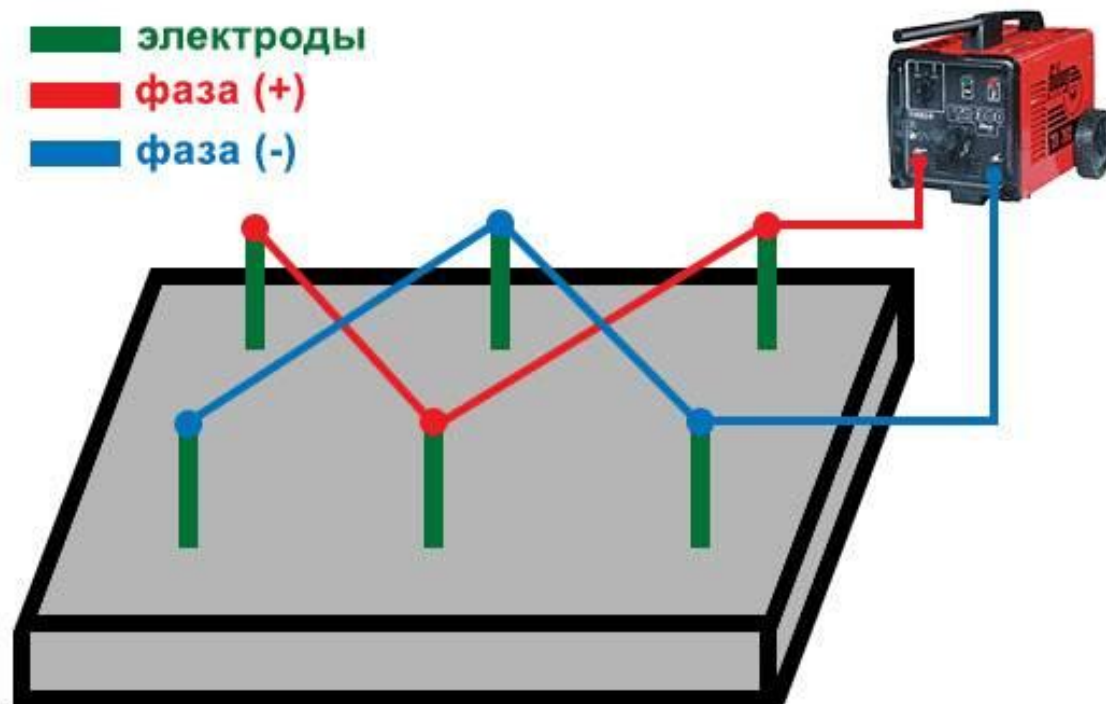


Рисунок 6 – Подключение электродов

Подключение электродов выполняется отпайками (отводами). Соединение отпайки с электродом идет путем скрутки, с применением петель, кольца или зажима. Для подключения необходимо использовать понижающий трансформатор или сварочный аппарат. После отвердевания бетона электроды остаются внутри, контакты выглядывающие наружу обрезают.

Термоэлектроматы изображены на рисунке 7.

Термоэлектроматы равномерно прогревают конструкцию. Марочный бетон за 11 часов набирает прочность, которую он приобрел бы за 28 суток в естественных условиях.

- С их помощью избавляются от лишних конструкций. Важная характеристика термоэлектромата – скорость укладки. Оборудуя фундаменты и ростверки термоэлектроматами для прогрева буронабивных бетонных свай, повышается скорость гидратации.

- Рабочим потребуется всего полчаса на монтаж термоэлектроматов, а при подключении электродов тратится минимум полдня на сборку схемы и присоединение ее к источнику напряжения. На рисунке 7 изображены термоэлектроматы установленные в опалубку.

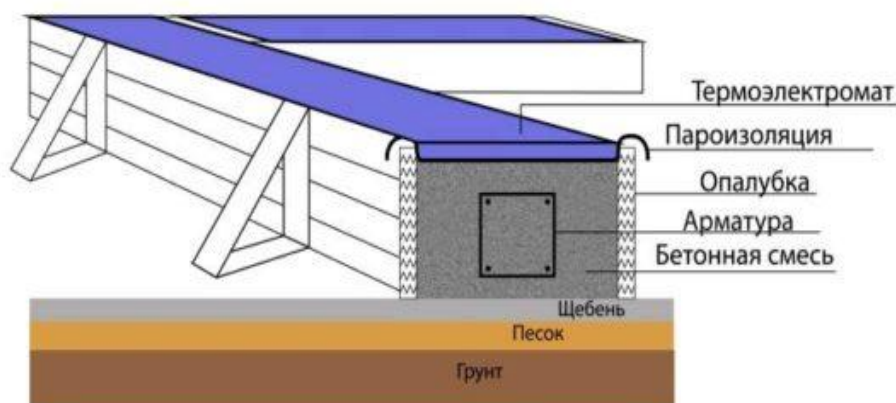


Рисунок 7 – Прогрев ленточного фундамента термоматами

Обогрев бетона в опалубке изображен на рисунке 8.

Способ греющей опалубки подразумевает передачу тепла от нее наружным слоям бетонной конструкции. Оттуда нагрев идет в толще бетона за счет теплопроводности.

В таких опалубках для нагрева бетона используют греющие провода и углеграфитовые изолируемые стеклотканью ленты размером 10 см.

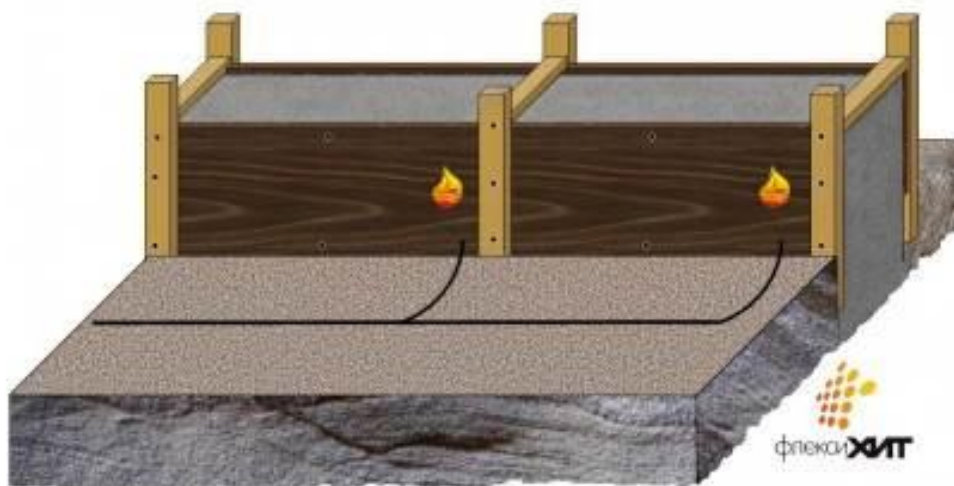


Рисунок 8 – Греющая опалубка

Для поддержания изотермического процесса необходимо избегать появления воздушных прослоек, по возможности утеплить конструкцию. Монтаж оборудования для нагрева происходит с наружной стороны опалубки.

Применение для обогрева греющего провода, 2-сегментного или цельного нагревательного элемента.

В основе данного способа — выделение тепла от проводника, находящегося в конструкции. Обогрев идет путем кондуктивного тепловыделения.

Способ воздушного прогрева изображен на рисунке 9.

Способ воздушного прогрева бетона относится к конвективному типу и заключается в равномерном нагреве конструкции от подводимого снаружи теплого воздуха. Применяют для этого гибкий шланг или прорезиненный рукав. Воздух вырабатывает теплогенератор, запитанный от электросети переменного напряжения или работающий на дизтопливе.

Рекомендуется пользоваться электрическими теплогенераторами, поскольку при работе дизеля выделяется большое количество выхлопных газов.



Рисунок 9 – Воздушный обогрев

Воздушный обогрев используется для заливки бетоном опалубки в закрытом пространстве с воздушной циркуляцией воздуха, усиленной вентилятором для равномерного прогрева бетона. При воздушном обогреве рекомендуется применение утепленных брезентовых воздухо непроницаемых материалов для создания тепляка над бетонной конструкцией.

3.1 Выбор терморегулятора

На сегодняшний день предлагается множество разновидностей терморегуляторов, различающихся как по принципу функционирования, так и по характеристикам. По первому признаку устройства делятся на три большие группы:

механические терморегуляторы.

электромеханические терморегуляторы.

электронные терморегуляторы.

3.1.1 Механические терморегуляторы

Эти устройства отличаются простотой исполнения и установки в систему отопления. Состоят такие регуляторы из запорного механизма, представленного игольчатым клапаном, и термоголовки. Благодаря расширению или сужению пружины, степень сжатия которой задаётся производителем, происходит давление на клапан, перекрывающий (частично или полностью) поток теплоносителя.

В результате при повышении температуры до определённого значения металлическая пружина расширяется, и расходование теплоносителя останавливается.

Преимущества механических терморегуляторов:

отсутствие необходимости подключения к источнику электрического тока;

возможность один раз и до окончания срока эксплуатации выставить температурный порог, по достижении которого доступ теплоносителя перекрывается;

относительная дешевизна.

Основные недостатки устройств:

- высокая инерционность;
- частые выходы из строя – в результате износа или простоя системы.

3.1.2 Электромеханические терморегуляторы

Эти приборы используются для регулирования работы систем электрообогрева. Наиболее распространённый и бюджетный вариант изделия – обычное реле, включающееся и выключающееся в зависимости от данных на датчике температуры. Очень часто такие реле встраиваются в прибор самим производителем, однако возможно и отдельное подключение.

Преимущества устройств:

безопасность: нагревательный элемент по достижении заданной температуры будет выключен автоматически;

экономичность: при правильной настройке прибора расходуется минимум электроэнергии;

Недостатки приборов:

необходимость подключения к выделенной силовой линии (с целью обеспечить автономность функционирования);

большая, по сравнению с механическими устройствами, стоимость;

сложность установки, обусловленная необходимостью разбираться в электрических схемах.

3.1.3 Электронные терморегуляторы

Основное отличие устройств – наличие микропроцессорного контроллера, подключаемого к датчику температуры, и дающего возможность полностью программировать режимы нагрева каждого подключаемого устройства, а значит, обеспечить наиболее рациональное расходование электроэнергии.

Преимущества:

исключительная гибкость программ обогрева, в том числе возможность самостоятельного программирования;

возможность подключения внешнего оборудования и интеграции в единую систему управления;

интеграция с модулями удалённого управления (GPS, GSM).

Среди недостатков можно отметить высокую цену на устройства и возможную сложность самостоятельного программирования.

В нашем случае учитывая сложность системы и необходимость учета многих параметров и обеспечения автоматизации процесса, нам подойдут только электронные терморегуляторы.

3.2 Электронные терморегуляторы, их виды и связь с контроллером

Основное распространение получили температурные контроллеры на базе ПИД-регуляторов.

Контроллеры отличаются вариантами регулирования параметров и особенностями работы.

Современные модели температурных контроллеров с ПИД-регуляторами снабжены светодиодной индикацией, выполняющей различные функции:

- отображение текущего значения измеряемого параметра.

- отображение заданного в настройках значения.

- отклонение текущего значения от заданного в абсолютных числах или процентах.

- индикация состояний работы прибора.

- аварийная сигнализация.

Большая часть моделей терморегуляторов позволяет встраивать контроллеры в шкаф управления или монтировать на DIN-рейку. Для простоты монтажа некоторые варианты имеют бескорпусные модификации.

Многие контроллеры помимо термодатчиков могут работать с другими видами измерительных приборов: датчиками давления, расхода, влагомерами, датчиками тока, датчиками положения задвижки, углового положения и т.д.

Электронные терморегуляторы обеспечивают различные температурные процессы: нагревание, охлаждение, поддержание заданного параметра и т.д. Электронные терморегуляторы встраиваются в автоматически управляющие системы и осуществляют регулирование заданных параметров с помощью управления исполнительным оборудованием.

Принцип работы электронного терморегулятора заключается в получении входного сигнала с датчика температуры и формировании сигнала управления оборудованием на базе величины полученного значения измеряемого параметра. В зависимости от особенностей работы выходного сигнала, управляющий сигнал может формироваться различным способом.

Сигнал управления температурного контроллера с ПИД-регулятором формируется на базе полного или частичного пропорционально-интегрально-дифференцирующего регулирования. При этом происходит расчет трех величин:

пропорциональной – отклонением текущего результата измерения от заданного значения,

интегрирующей – интеграла по времени от разницы значений.

дифференцирующей – скорости изменения разницы значений.

Выходной сигнал при ПИД-регулировании включает в себя сумму всех трех величин. Частичное ПИД-регулирование может включать в себя только одну или две величины:

пропорциональное регулирование,

пропорционально-интегрирующее регулирование,

пропорционально-дифференцирующее регулирование.

Современные температурные контроллеры включают в себя функции автоматического регулятора по заданной программе из нескольких шагов.

Сравнительная характеристика нескольких терморегуляторов представлена в таблице 1 ниже.

Таблица 1 - Ассортимент терморегуляторов. Сравнительная характеристика

Характеристика	ИРТ-4К	Термодат-19К5	ТРМ148 ОБЕН
количество каналов измерения и	1-4	1-4	1-8

регулировки			
Измеряемая и регулируемая t	-55,0 - +99,9 °С	-270 °С+2500 °С	-200°С+2500
Программируемый гистерезис (допустимое отклонение)	0,1 - 99,9 °С	От 1 до 25 °С	0...9999 (ед.из.)
Точность измерения	0,1°С	0,25 °С	0,1 °С- 1 °С
Варианты работы каналов	Два: Нагрев/охлаждение.	Два: Нагрев/охлаждение.	Двухпозиционный регулятор, ПИД-регулятор
Аварийная индикация работоспособности датчиков t	есть	есть	есть

Рассмотрим подробнее каждый из них.



Рисунок 10 - Регулятор температуры ИРТ-4К – четырехканальный

ИТР-4К, изображен выше на рисунке 10. Это устройство может измерять, поддерживать и осуществлять управление. При этом задаются пределы температуры в различном оборудовании, устройствах климат контроля и других приборах. Также в других технологических процессах на производстве и в быту. Каналы (зоны) регулирования могут быть сконфигурированы различными способами. Можно каждую линию сделать независимой с четырьмя датчиками и четырьмя исполнительными реле. Когда несколько датчиков присваивается одному реле, нагрузка будет выключаться, когда происходит запрет на включение хотя бы от одного датчика. Возможны варианты присвоения одного датчика нескольким реле, при этом одни из них могут работать на нагрев, другие – на охлаждение. В качестве датчиков температуры можно использовать цифровые датчики DS18B20-3. Они имеют идентификационные коды опознавания, которые можно подключать параллельно на однопроводной линии связи.

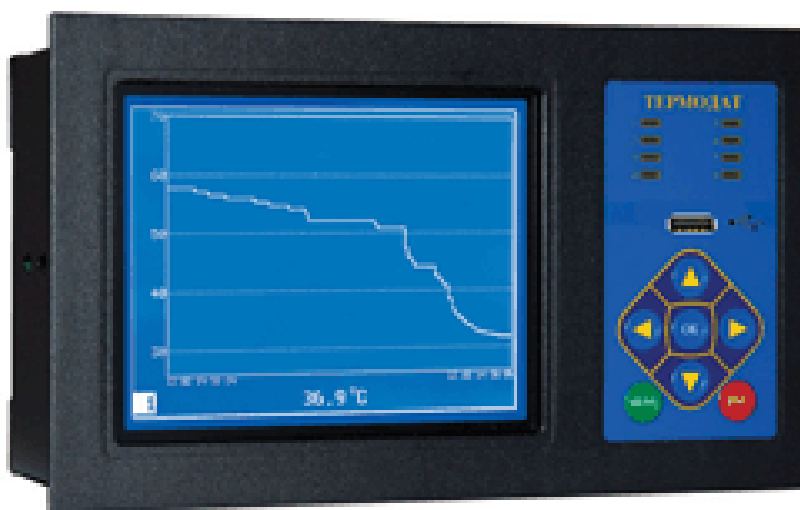


Рисунок 11 - Четырехканальный программный регулятор температуры ТЕРМОДАТ-19К5

ТЕРМОДАТ-19К5 используется в различных областях промышленности. Этот прибор универсален и имеет большие возможности,

множество тонких настроек и сервисных функций. Большой графический дисплей позволяет наблюдать за качеством регулирования и контролировать технологический процесс. Все данные могут быть просмотрены на приборе в режиме графика, переданы на компьютер для дальнейшей обработки или сохранены на USB-носителе Термодат-19К5 – четырехканальный прибор. На дисплей может выводиться информация по всем каналам одновременно, либо подробно по одному каналу. Также имеется возможность отключить неиспользуемые каналы.

Входы Термодат-19К5 универсальны, за счет чего используются для измерений различные датчики: термопары, термосопротивления, датчики с токовым выходом и др. Термодат-19К5 может управлять как печью, так и охладителем (холодильник, вентилятор). Этот прибор возможно использовать в качестве электронного самописца для измерения температуры и записи в архив, без регулирования. Термодат-19К5 имеет четыре транзисторных/симисторных/релейных выходы, предназначенных для управления нагревателем или охладителем, а также пять релейно-симисторных выходов, которые могут использоваться для управления или для аварийной сигнализации. На разных каналах могут быть заданы различные функции, например, первый канал для управления нагревателем, второй – для управления охладителем и т.д.

Прибор может работать с блоком аналоговых выходов БАВ4М1, который приобретается дополнительно. Аналоговые (токовые) выходы работают в режиме трансляции измеренной величины или в режиме вывода мощности. Пределы тока задаются пользователем. Прибор имеет удобные сервисные функции, понятное меню на русском языке и прост в настройке и эксплуатации.

Терморегулятор ТРМ148 ОВЕН (рисунок 12) представляет собой 8-канальный измеритель-регулятор, имеет гибкую конфигурируемую структуру.



Рисунок 12 - Терморегулятор ТРМ148 ОВЕН

Стоит отметить, что наличие 8 каналов является большим плюсом данного прибора в сравнении с предыдущими. Все элементы прибора: регуляторы, вычислители, входные и выходные модули и т. д. являются автономными программными модулями и находятся внутри микроконтроллера прибора. Чтобы прибор заработал, необходимо его сконфигурировать, задать все необходимые параметры для используемых программных модулей. Быстрое конфигурирование прибора ТРМ148 производится с помощью программы «Быстрый старт» (EasyGo ТРМ148). Если необходимо изменить отдельные параметры прибора или создать конфигурации, которые отличаются от стандартных, используется программа-Конфигуратор ТРМ148, имеющая доступ ко всем параметрам прибора.

Для ТРМ148 разработаны шесть типовых программ, которые записаны в постоянную память устройства. Они предназначены для быстрого конфигурирования прибора под определенную задачу. Предусмотрена возможность создания индивидуальной конфигурации. Прибор изготавливается в нескольких вариантах исполнения, отличающихся друг от друга конструктивным исполнением и типом встроенных выходных элементов, служащих для управления исполнительными механизмами. Прибор ТРМ148 эксплуатируется при следующих условиях:

закрытые взрывобезопасные помещения без агрессивных паров и газов;
температура окружающего воздуха от +5 до +50 °С;
верхний предел относительной влажности воздуха: 80 % при +25 °С и более низких температурах без конденсации влаги;
атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа

4. Способы терморегулирования

Регуляторы процесса (Process Controllers) – это параметрируемые цифровые контроллеры со встроенным набором стандартных функций для регулирования технологических переменных (температуры, давления и т.п.).

В качестве сигналов задания (Reference) могут использоваться как фиксированные уставки (Fixed Setpoints), так и внешние (External).

Аналоговые входы используются для подключения датчиков обратной связи (термометров сопротивления, термопар, манометров и т.п.).

Дискретные входы используются для задания фиксированных уставок и переключения между режимами.

Дискретные выходы используются для сигнализации: готовности, аварий, состояния.

Релейные выходы используются для дискретного управления, а аналоговые выходы – для непрерывного управления.

Дискретное управление

2-х позиционный регулятор использует только 2 состояния:

включено (открыто)

выключено (закрыто)

Пример: управление нагреванием или охлаждением.

3-х позиционный регулятор использует 3 состояния:

выключено

вращение по часовой стрелке

вращение против часовой стрелки (реверс)

Для непрерывного управления используются ПИД-регуляторы.

Возможна реализация каскадного (подчинённого) управления.

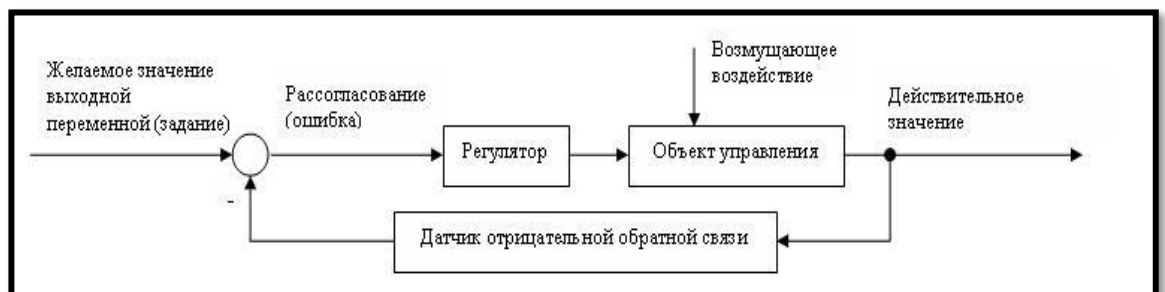


Рисунок 13 - Замкнутая система управления

Переходный процесс – это реакция системы на внешнее воздействие (задание, возмущение).

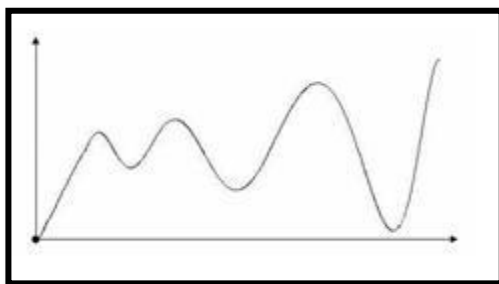


Рисунок 14 - Неустойчивый (расходящийся) переходный процесс

С помощью настройки ПИД-регулятора (PID-controller) мы можем скорректировать переходный процесс, график изображен на рисунке 15.

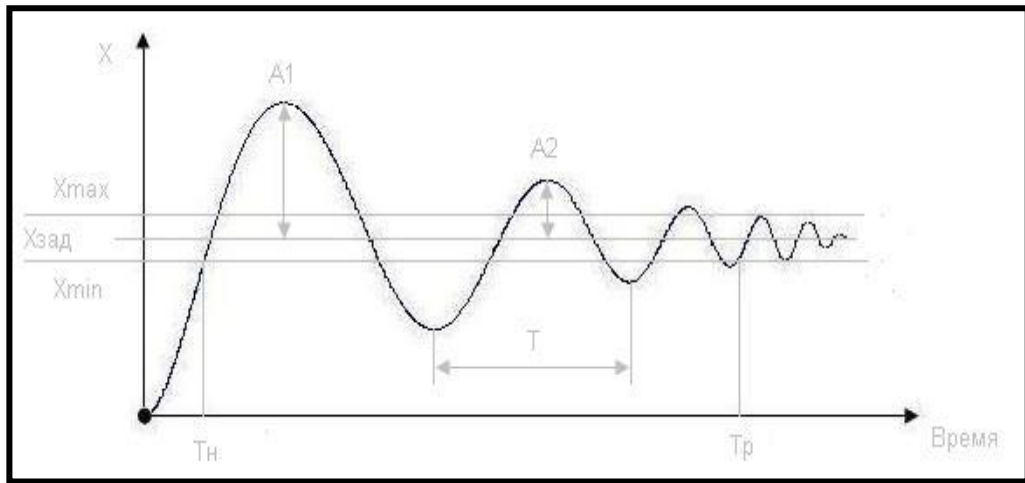


Рисунок 15 – регулирование переходного процесса

$X_{\text{зад}}$ – заданное (желаемое) значение выходной переменной

X_{max} – верхний допустимый предел выходной переменной

X_{min} – нижний допустимый предел выходной переменной

T – период колебаний

$T_{\text{н}}$ – время нарастания

$T_{\text{р}}$ – время переходного процесса (последняя точка пересечения кривой с X_{min} или X_{max})

A_1 – первое перерегулирование

A_2 – второе перерегулирование

$d=A_1/A_2$ - степень (декремент) затухания переходного процесса (отношение первого перерегулирования ко второму)

Рассогласование, перерегулирование, время нарастания, время переходного процесса, степень затухания характеризуют качество регулирования.

Пример

ПИД-регулятор включает и выключает нагревательный элемент так, чтобы поддерживать температуру $+70^{\circ}\text{C}$ с погрешностью плюс-минус 5 градуса. Регулятор вычисляет рассогласование (ошибку) - отклонение реальной температуры ($+5^{\circ}\text{C}$) от заданного значения ($+70^{\circ}\text{C}$) и решает – когда и насколько необходимо включить нагревательный элемент, чтобы

температура повысилась на 5°C. Реальную (фактическую) температуру регулятор узнаёт с помощью датчика температуры (обратная связь), а заданную температуру (уставку) ему сообщает оператор, например, набирая число «70» на компьютере.

Чтобы настроить ПИД-регулятор, необходимо подобрать правильную комбинацию трёх коэффициентов:

Пропорционального – K_p

Интегрального – K_i

Дифференциального – K_d

Могут использоваться и более простые - П и ПИ-регуляторы.

Формула ПИД-регулятора

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{d}{dt} e(t)$$

где $e(t)$ - ошибка (рассогласование), $u(t)$ - выходной сигнал регулятора (управляющее воздействие).

Чем больше Пропорциональный коэффициент, тем выше быстродействие, но меньше запас устойчивости. Простой П-регулятор не может полностью отработать рассогласование, т.е. всегда работает с ошибкой.

ПИ-регулятор позволяет избавиться от статической (установившейся) ошибки, но, чем больше интегральный коэффициент, тем больше перерегулирование (динамическая ошибка).

ПИД-регулятор позволяет нам уменьшить перерегулирование, но, чем больше Дифференциальный коэффициент, тем больше погрешность из-за влияния шумов.

Если шумы идут по каналу обратной связи, то мы можем их отфильтровать с помощью фильтра низкой частоты, но чем больше постоянная этого фильтра, тем медленнее регулятор будет обрабатывать возмущения.

Настройка ПИД-регулятора по методу Циглера-Николса

Циглер и Николс предложили свой вариант быстрой настройки ПИД-регулятора для периодического переходного процесса, в котором затухание примерно равно 4.

Обнуляем K_i и K_d

Постепенно увеличиваем K_p до критического значения K_c , при котором возникают автоколебания

Измеряем период автоколебаний T

Вычисляем значения K_p , K_i и K_d по разным формулам для разных регуляторов:

для П-регулятора: $K_p=0,50*K_c$

для ПИ-регулятора: $K_p=0,45*K_c$, $K_i=1,2*K_p/T$

для ПИД-регулятора: $K_p=0,60*K_c$, $K_i=2,0*K_p/T$, $K_d=K_p*T/8$

Каскадный регулятор (подчинённое управление)

Теперь попробуем сделать так чтобы уставка задания температуры менялась в зависимости от температуры воздуха на улице (на улице мороз – нагреватель постоянно включен, на улице жара – нагреватель выключен). Можно установить ещё один регулятор комфортной температуры, который по показаниям термометра узнаёт фактическую температура наружного воздуха и решает, что комфортная температура должна быть $+70^{\circ}\text{C}$, поэтому он выдаёт задание регулятору температуры поддерживать температуру на уровне $+70^{\circ}\text{C}$. Здесь мы имеем каскадное регулирование: контур регулирования температуры подчинён контуру регулирования комфортной температуры.

Упреждающее регулирование (Feedforward Control)

Не всегда простой ПИД-регулятор в системе с обратной связью может обеспечить требуемое быстродействие из-за возникновения нежелательных колебаний или недопустимо большого перерегулирования. Для улучшения характеристик регулирования применяют комбинированное управление – с обратной связью (closed-loop) и без обратной связи (open-loop). К управляющему воздействию (выходу регулятора) добавляется сигнал

упреждающего воздействия, который не зависит от рассогласования, а значит, не может вызвать автоколебания в системе.

Вместо каскадного управления мы можем реализовать упреждающее регулирование без измерения уличной температуры: читаем прогноз, задаём уставку $+70^{\circ}\text{C}$ по таймеру времени.

Если измерить возмущение, то можно подать упреждающее воздействие, которое компенсирует влияние этого возмущения на процесс до того, как начнёт изменяться регулируемый параметр.

4.1 Физика процессов терморегулирования

Температура как физическая величина – это степень подвижности молекул, внутренняя энергия вещества, кинетическая энергия частиц, которые находятся в состоянии термодинамического равновесия.

Любой терморегулятор обеспечивает автоматическое поддержание необходимой температуры каждой среды или объекта: будь это воздух, вода, либо поверхность.

На физическом уровне его работа сведена к замыканию, а затем к размыканию электрической цепи. Благодаря этим процессам терморегулятор можно вполне сравнить с простым переключателем.

Но в отличие от последнего, электронный регулятор температуры не требует действий человека, так как электрическая цепь коммутируется автоматически, а именно – по внешнему управляющему сигналу. Здесь сигнал может происходить благодаря механическому воздействию на механизм включения/отключения биметаллической пластиной, находящейся в терморегуляторах различных нагревательных приборов.

Температурный датчик, применяемый в современном производстве, использует принцип преобразования температуры, которую измеряют, в электрический сигнал. Такое преобразование основывается на передаче электрического сигнала с большой скоростью на огромные расстояния.

Также любые физические величины могут быть преобразованы благодаря электрическим сигналам. Эти сигналы, преобразованные в цифровой код, будут передаваться с высокой точностью. Помимо этого они вводятся в компьютер для обработки.

В промышленной автоматике обычно применяется электронный регулятор температуры, сигналом которого является состояние управляющего датчика температуры.

Современное автоматизированное производство сложно представить без наличия электронных датчиков температуры. На Рисунке 1 изображен простой алгоритм работы системы, где температурные уставки задаются с операторского ПК или пульта управления, далее данные попадают в контроллер, который считывает информацию с датчика температуры и производит управление нагревательным элементом, схема изображена на рисунке 16.

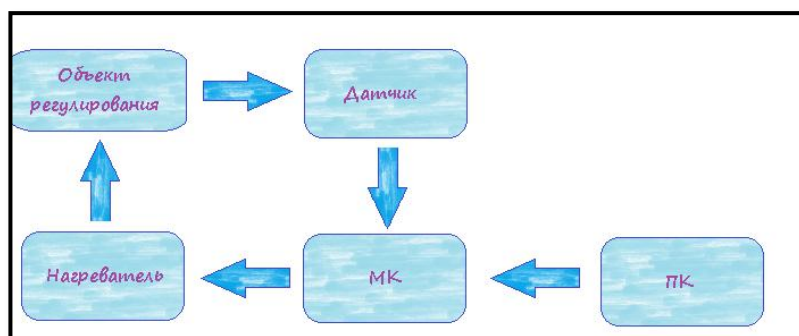


Рисунок 16 – схема с алгоритмом работы

4.2 Выбор датчика температуры

По типу сигнала датчики температуры можно разделить на аналоговые и цифровые.

В качестве аналогового прибора часто используют терморезисторы, термопары, термисторы, полупроводники и т.д. Для обработки данных температуры, сигнал подается на взвешивающее устройство под названием АЦП. После преобразования сигнала в цифровой код, над массивом

происходит операция шкалирования и перевод данных в необходимую систему счисления. К примеру, при работе с термопарой PT100 подключение датчика температуры происходит к аналоговому модулю ввода-вывода PLC или порта ввода микроконтроллера.

Однако аналоговые датчики температуры не всегда удобны в использовании и большинство из них обладает слабой помехоустойчивостью. В этом случае приходят на помощь цифровые приборы, такие как DS18B20.

Термопреобразователи (датчики температуры) предназначены для непрерывного измерения температуры различных рабочих сред (например, пар, газ, вода, сыпучие материалы, химические реагенты и т.п.), не агрессивных к материалу корпуса датчика. Датчиков температуры очень много (таблица 2) и отличаются они по разным характеристикам. В зависимости от места применения различают:

- 1) датчики с механическими воспринимающими органами;
- 2) радиационные датчики температуры;
- 3) датчики с электрическими воспринимающими органами.

Таблица 2 – Сравнительные характеристики распространенных типов датчиков температуры

Тип датчика температуры	Основные преимущества	Основные недостатки	Основные области применения
Термометры сопротивления	Высокая линейность номинальной статической характеристики Широкий диапазон рабочих температур Высокая стабильность основных параметров Устойчивость к воздействию агрессивных сред	Необходимость во внешней схеме для возбуждения	Широко используются как в относительно недорогих, так и в прецизионных системах измерения и контроля температуры

	(ПТС) Относительно невысокая стоимость		
Полупроводниковые термисторы	Дешевизна и доступность Высокий температурный коэффициент сопротивления	Необходимость во внешней схеме для возбуждения Высокая нелинейность номинальной статической характеристики Низкая стабильность основных параметров	Предназначены для применения в недорогих устройствах с низкими требованиями к точности измерений, в простых системах одно- и двухпорогового контроля температуры или для организации контроля температуры во второстепенных узлах сложной радиоэлектронной аппаратуры
Термопары	Самый широкий диапазон рабочих температур Высокая повторяемость характеристик Высокое быстродействие	Необходимость компенсации опорного сая Низкое выходное напряжение Необходимость использования крупногабаритных конструкций для компенсации опорного сая для достижения высокой точности измерений	Широко используются в бюджетных устройствах с «электронной» компенсацией опорного сая с невысокой точностью измерений. Используются в сверхпрецизионных измерительных системах 0,01...0,25 °С с компенсацией опорного сая с помощью сосуда Дьюара или специализированных термостатов

Мы остановимся на термометрах сопротивления для нашей опытной модели автоматизированной греющей линии. Принцип работы такого вида термометра заключается в изменении сопротивления проводников и полупроводников в зависимости от температуры. Материалы, из которых изготовлены термометры, должны обладать большим и постоянным температурным коэффициентом сопротивления, а так же большим удельным сопротивлением; их физические и химические свойства должны быть устойчивы при высоких температурах.

По принципу действия термометры сопротивления можно классифицировать следующим образом: проволочные термометры сопротивления (никель, платина, медь, вольфрам); полупроводниковые термометры сопротивления (термисторы); датчики температуры, основанные на использование свойств p-n перехода;

Так, например, по маркировке можно определить термометры сопротивления медные (ТСМ), платиновые (ТСП) и т.д. Они в свою очередь тоже имеют свои разновидности в зависимости от сопротивления: маркировка 50 м означает, что чувствительный элемент, сделан из меди и имеет сопротивление при 0 градусов – 50 Ом.

5 Разработка греющего элемента

В разработанной нами системе для нагрева применяется греющий кабель. Такие кабели обладают разными характеристиками и для выбора подходящего нам нужно разобрать различные их варианты.

Условно греющие кабели можно разделить на два типа: саморегулирующийся и резистивный. Чем отличаются эти виды друг от друга можно увидеть далее в таблице.

Таблица 3 - Сравнительная характеристика типов греющего кабеля.

Характеристика	Саморегулируемый кабель	Резистивный кабель
Распределение тепла	Способен автоматически менять мощность на разных участках в зависимости от температуры среды	Нагревается по всей длине одинаково
Условия использования	Работает в условиях перепада температур	Работает только в однородной среде, в неоднородной есть высокий риск перегрева и сгорания
Особенности комплектации	Охлаждается и нагревается без использования электронных регуляторов и датчиков температуры	Нельзя использовать без терморегулятора
Стойкость к скачкам напряжения	Высокая стойкость	Средняя стойкость
Возможность укладки в перехлест	Возможна	Невозможна
Возможность нарезки	Можно нарезать на отрезки нужной длины	Используются только отрезки фиксированной длины
Цена	Высокая	Низкая
Стоимость обогрева	Низкая	Высокая

Проанализировав данные из таблицы, делаем вывод что для нашей системы удобно использовать резистивный греющий кабель, так как регулирование температурных параметров будет осуществляться при помощи контроллера, к тому же такой вид кабеля значительно дешевле.

Греющий элемент должен соответствовать размерам ячейки, удобно соединяться в цепь, выдавать требуемую мощность и удовлетворять пожарные и теплоизоляционные параметры. На рисунке 17 изображен разработанный нами греющий элемент.

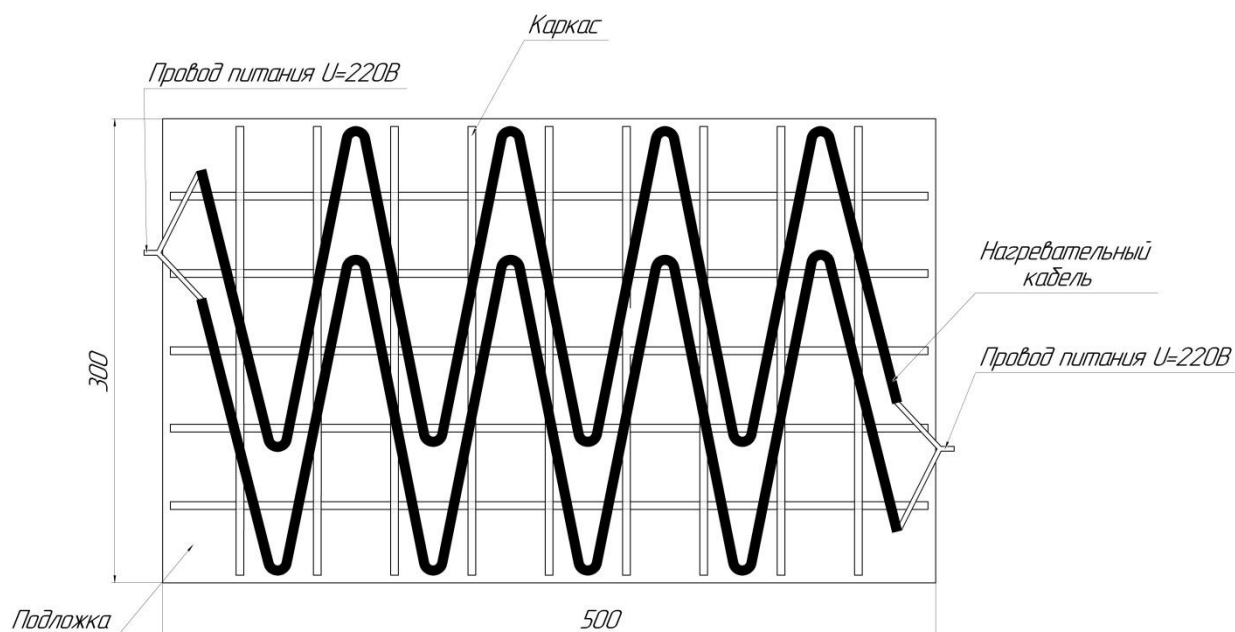


Рисунок 17 – нагревательный элемент

Нихромовые трехжильные кабели закреплены на стеклопластиковом каркасе при помощи намотки. Первый кабель дублируется вторым, в целях надежности. Подложка выполнена из теплоизолятора с отражающим фольгированным слоем. Концы нагревательного кабеля соединены с многожильным медным проводом, выполненным в термостойкой изоляции. Эти провода выходят на обратную сторону подложки, где соединяют два нагревательных кабеля в параллель.

5.1 Соединение нагревательных элементов и их подключение к питанию

Нагревательные элементы объединяются в группы по 3 штуки на фазу и соединяются последовательно. Сопротивление одного нагревательного элемента равно 50 Ом, а сопротивление цепи из 3 нагревателей равно 150 Ом. Мощность, выдаваемая каждым нагревателем 110 Вт. Соединение элементов изображено на рисунке 18.

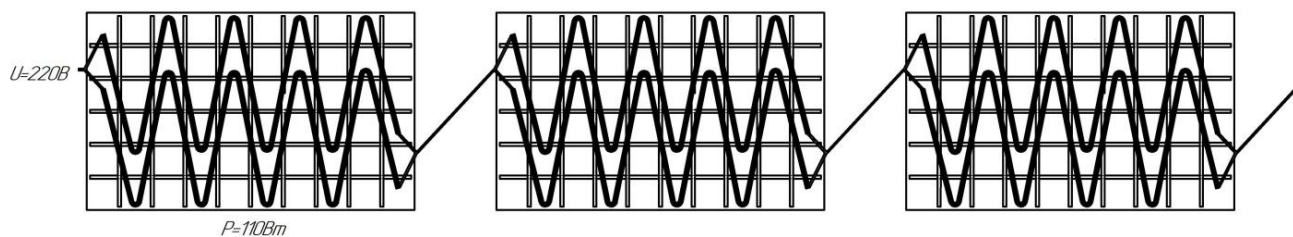


Рисунок 18 – соединение нагревательных элементов.

5.2 Коммутация нагревательных линий

Цепи из нагревателей распределяются по фазам, так чтобы в итоге нагрузка на каждой фазе была равнозначна нагрузке на двух других фазах. Пример с пофазным распределением части опалубки указан на рисунке 19.

№ ряда борта		1	2	3	4	5	6			
№ канала	15	N	Ан	А	Ак	N	Вн	В	Вк	25
	16		Вн	В	Вк		Сн	С	Ск	26
			Сн	С	Ск		Ан	А	Ак	
	17		Ан	А	Ак		Вн	В	Вк	27
18	Вн	В	Вк	Сн	С	Ск	28			
	Сн	С	Ск	Ан	А	Ак				

Рисунок 19 – пофазное распределение

6 Описание конструкции лабораторной модели

Лабораторная модель является упрощенным вариантом реальной опалубки для мостовых балок. Опалубки для мостовых балок, для которых разрабатывается система автоматизированного обогрева, имеют размеры от 15 метров до 33 метров. К тому же они Т образны и имеют разную толщину

формы на протяжении своей длины. Лабораторная модель имеет максимально упрощенную форму и конструкцию и предназначена для испытаний системы автоматизированного нагрева, для отладки алгоритмов управления, анализа точности измерений и тестирования нагревательных элементов. На рисунке 20 изображен борт лабораторной модели.

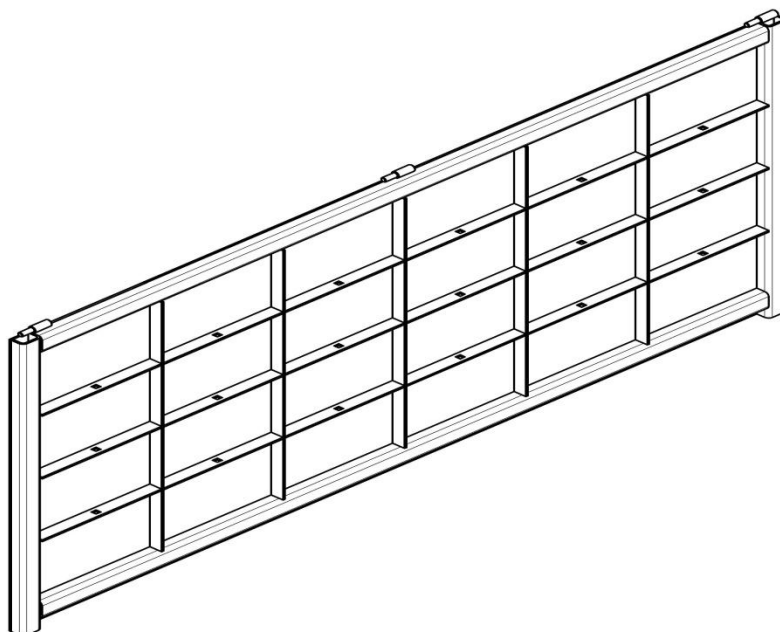


Рисунок 20 – борт лабораторной модели

В данный борт монтируются нагревательные элементы и соединяются в цепи. Распределение нагрузки по фазам равномерно. Далее монтируются термодатчики, один термодатчик устанавливается по середине на каждую из четырех горизонтальных линий. Термодатчики подключаются к контроллеру для сбора данных. Линии нагрева силовыми кабелями подключаются к магнитным пускателям, которые коммутируются через реле установленные в контроллере. Эти линии располагаются на двух бортах правом и левом. В совокупности мы имеем 8 каналов с датчиками и 8 каналов с нагревательными линиями. Но греется также и поддон стенда, но он не имеет собственного термодатчика. На рисунке 21 изображен лабораторный стенд целиком, а на 22 рисунке поддон стенда.

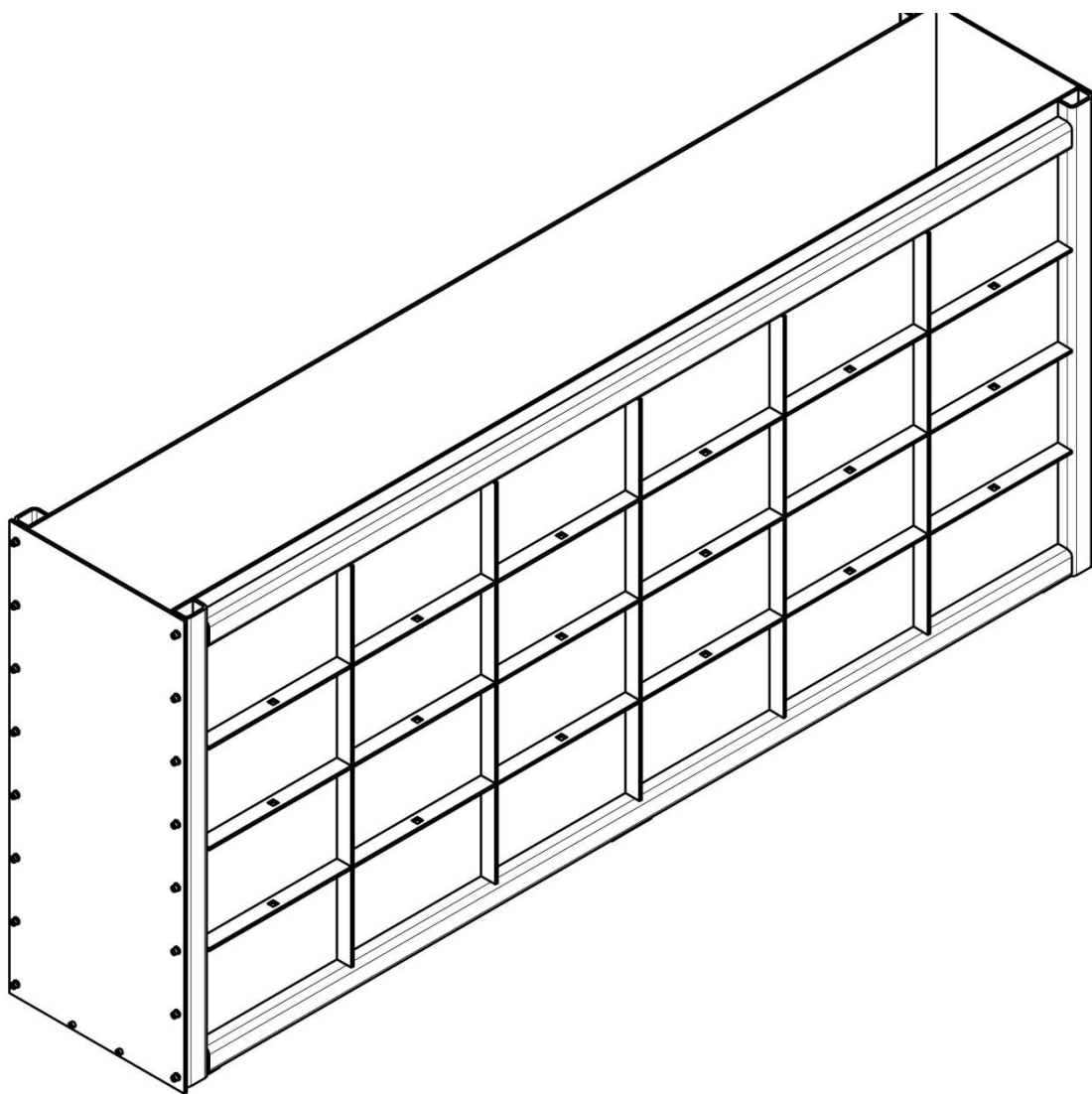


Рисунок 21 – корпус лабораторной модели

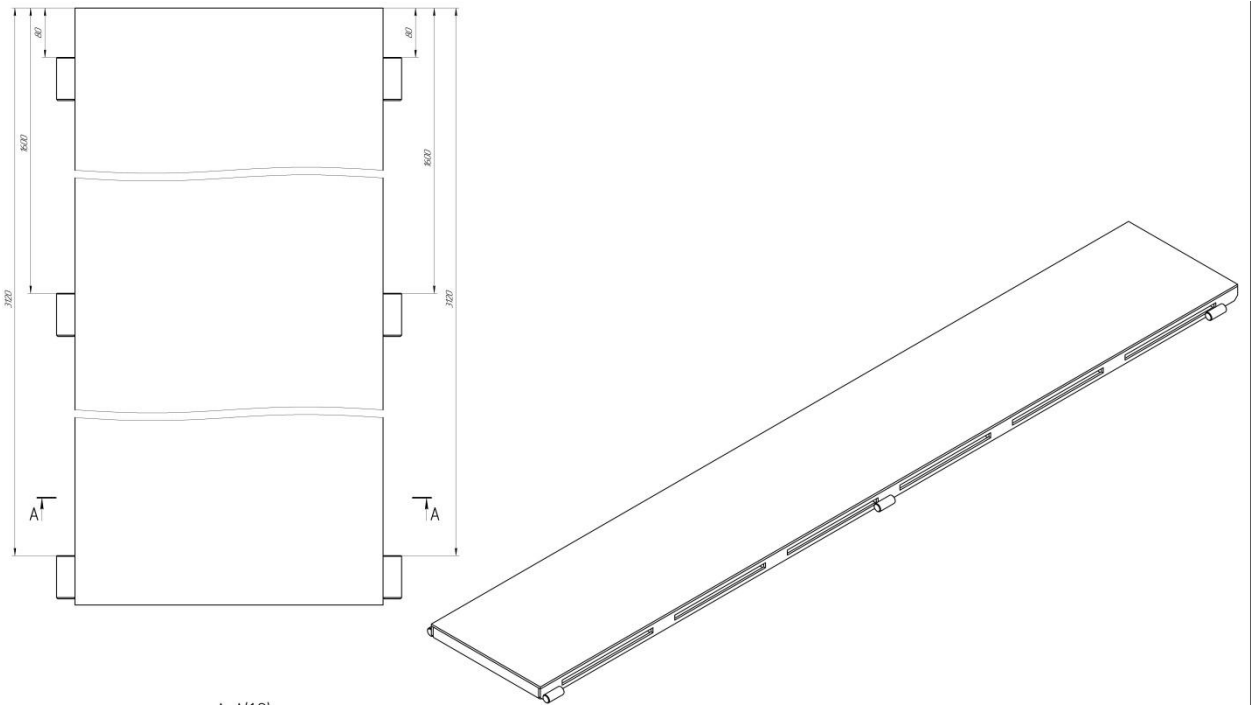


Рисунок 22 – поддон лабораторной модели

В поддон смонтировано 6 нагревателей, соединенных в 2 линии по 3 и подключенных на менее нагруженные фазы.

На рисунке 23 изображена схема подключения силовых линий.

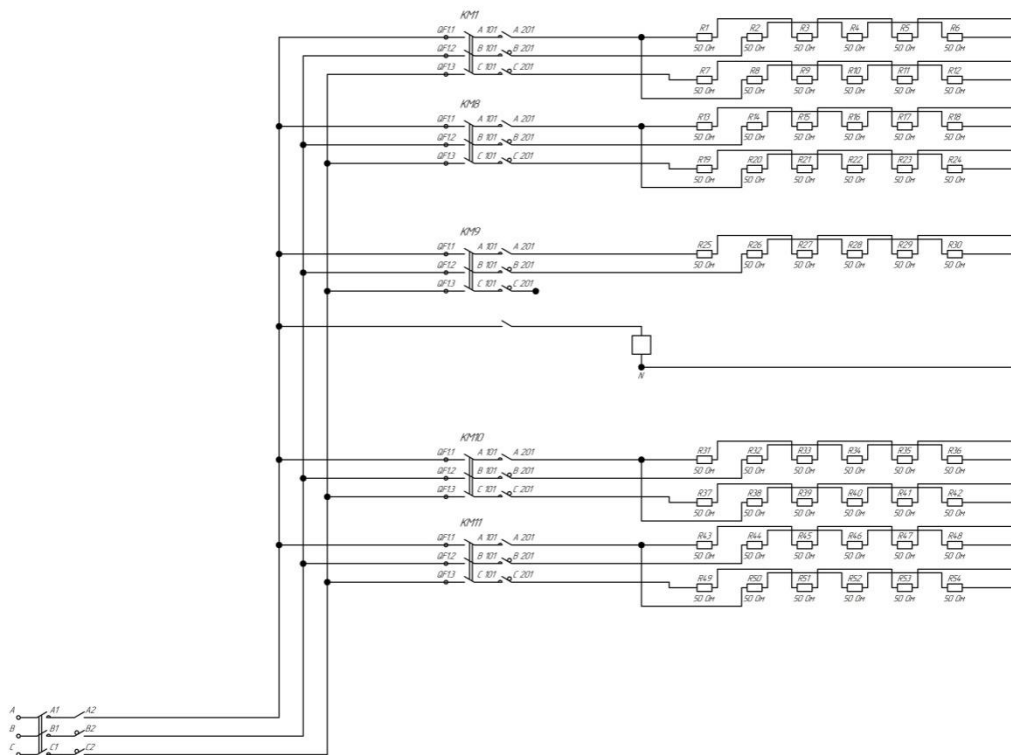


Рисунок 23 – схема подключения силовых линий

6.1 Расчёт параметров модели

Автоматизированная греющая система включает в себя также термодатчики. Нагревающая система не может работать и быть под контролем без этих устройств.

Вот мы и сформировали нашу условную установку, которая включает в себя следующие элементы: терморегулятор ТРМ148, датчики температуры ТСМ50 и резистивные греющие кабели. Данная греющая система в нашем случае будет применяться для нагрева металлических поверхностей на производствах (металлической опалубки для железобетонных конструкций, чтобы предотвратить промерзание бетона зимой). Нагревательный кабель на наших греющих пластинах плотно будет прилегать к металлической поверхности, а с другой стороны на греющей пластине будет теплоизолятор (например, пенотерм). Монтируя систему, в которой работает прибор, следует учитывать правила организации эффективного заземления: все заземляющие линии прокладывать по схеме «звезда» с обеспечением хорошего контакта; все заземляющие цепи должны быть выполнены проводами наибольшего сечения; запрещается объединять клемму прибора с маркировкой «Общая» и заземляющие линии.

Для подключения прибора следует:

соединить прибор с источником питания;

подать питание на прибор;

выполнить настройку прибора;

снять питание;

подключить линии связи «прибор – датчики» к первичным преобразователям и входам прибора.

Общая схема для подключения ТРМ148 продемонстрирована на рисунке 24.

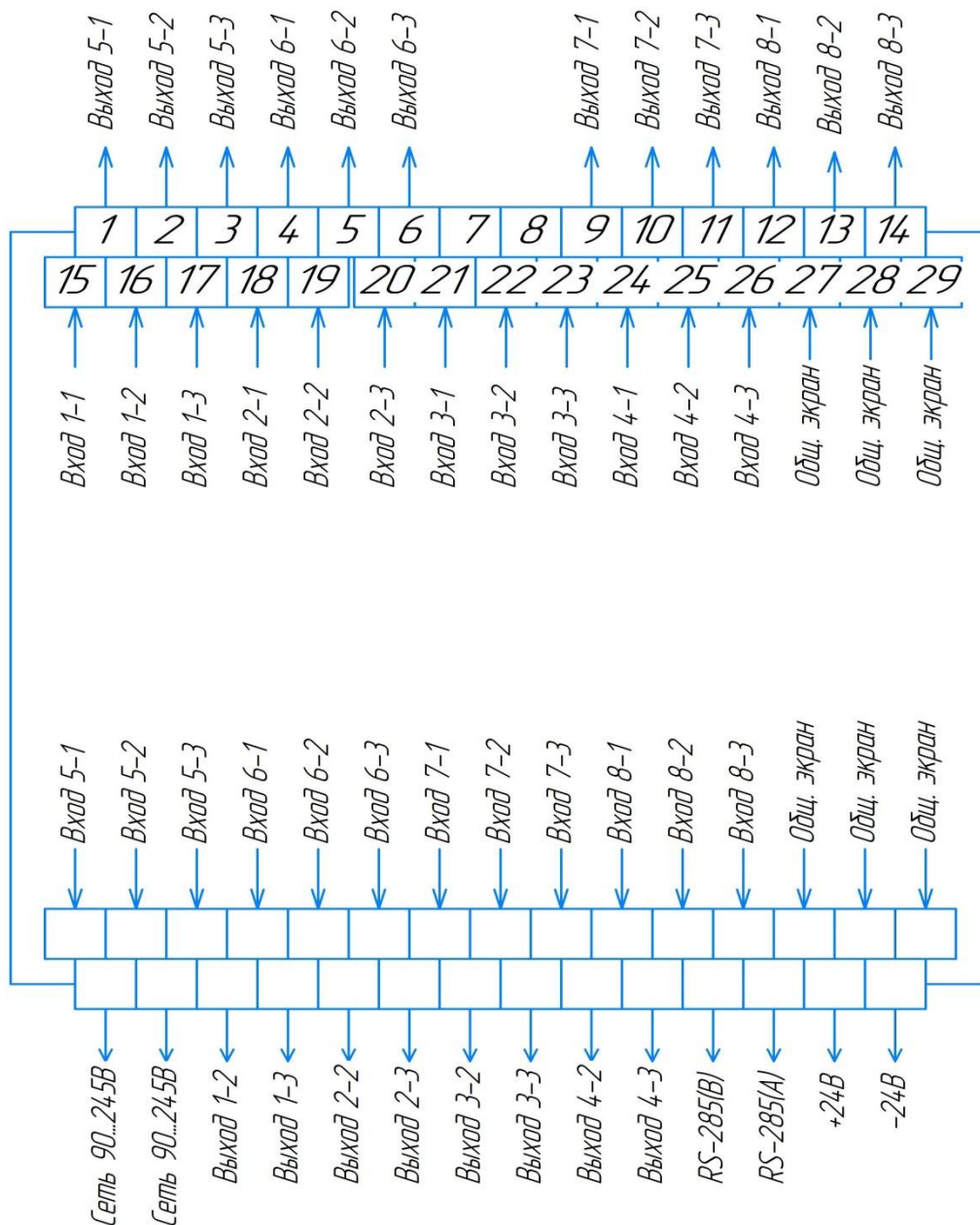


Рисунок 24 – Общая схема для подключения TRM148

Входные измерительные устройства в приборе являются универсальными, т. е. к ним можно подключать любые первичные преобразователи (датчики) из перечисленных в руководстве по эксплуатации. К входам прибора можно подключить одновременно два датчика разных типов в любых сочетаниях. Подключения датчика ТСМ производят по

трехпроводной схеме, допускается подключение по двухпроводной, если трехпроводную невозможно использовать по техническим причинам.

Как уже ранее говорили, регуляторы ТРМ148 могут работать в двух режимах. Один из них – режим ПИД-регулятор.

Для системы разработана схема подключения датчиков к контроллеру, которая изображена на рисунке 25.

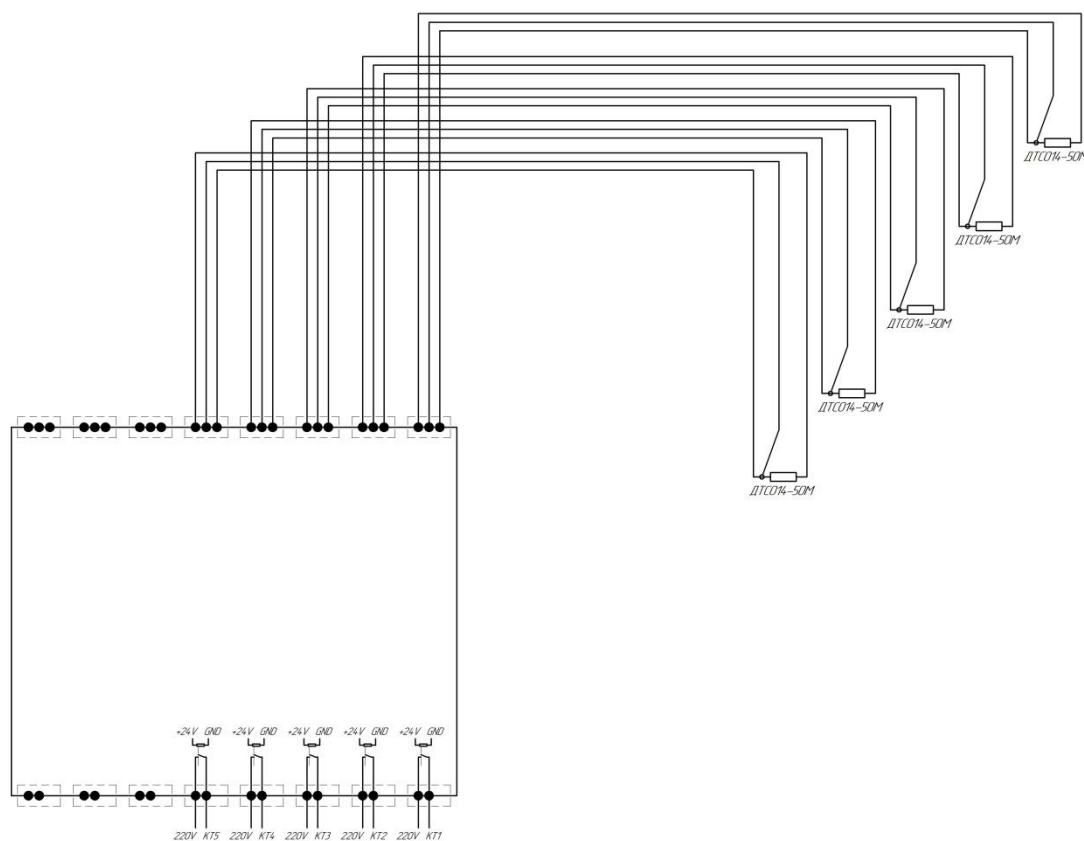


Рисунок 25 - схема подключения датчиков к контроллеру.

Все элементы прибора (регуляторы, вычислители, входные и выходные модули, и т. д.) являются автономными программными модулями. Перед запуском прибора следует настроить конфигурацию и/или задать все необходимые параметры для программных модулей. Неиспользуемые программные модули не требуют настройки. В приборе заложено несколько базовых Конфигураций, между которыми можно переключаться через меню

(с лицевой панели) или с помощью «Конфигуратора». Для ТРМ148 можно быстро настроить конфигурацию с помощью программы EasyGo ТРМ148. Для изменения отдельных параметров прибора или для создания конфигураций, отличающихся от стандартных, используется программа-Конфигуратор ТРМ148, которая имеет доступ ко всем параметрам прибора. В приборе реализована функция автонастройки ПИД-регуляторов, избавляющая пользователей от трудоемкой операции ручной настройки. Современный эффективный алгоритм автонастройки ПИД-регулятора: разработан компанией ОВЕН совместно с ведущими российскими учеными. При автонастройке прибор вычисляет оптимальные для данного объекта значения коэффициентов ПИД-регулирования. Последующая несложная ручная подстройка позволяет свести к минимуму перерегулирование.

На лицевой панели прибора расположены элементы индикации и управления (см. рисунок 26 далее): Цифровые индикаторы 1-4; 12 светодиодов; 6 кнопок.

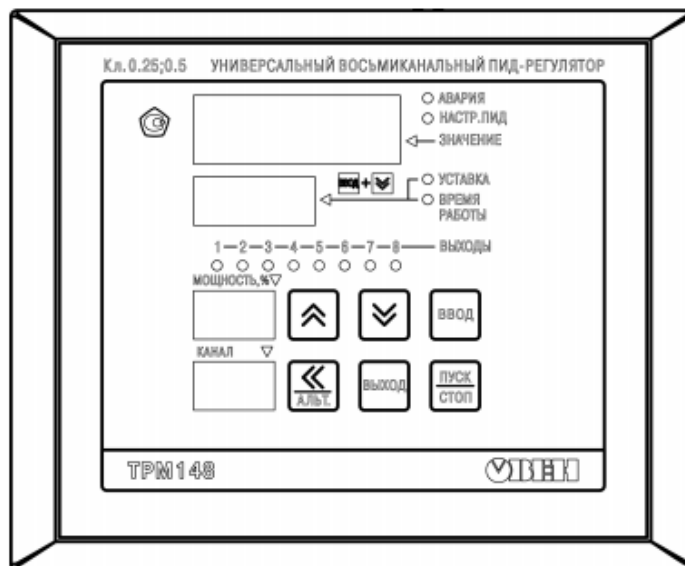


Рисунок 26 – Лицевая панель ТРМ148

ТРМ148 имеет много индикаторов: цифровые и светодиодные. Индикатор «авария» светится, если в канале возникла аварийная ситуация

аварийная и сигнализация включена. «Настр. ПИД» - этот индикатор светится, когда происходит автоматическая настройка параметров ПИД-регулятора для одного из объектов. «Уставка» светится, когда на цифровом индикаторе 2 отображается величина уставки, светодиодный индикатор «время» светится, когда на этом цифровом индикаторе показывается время. Индикаторы выходные с первого по восьмой светятся, если включено дискретное (ключевое) выходное устройство на данном канале. При использовании аналоговых выходных устройств светодиоды не задействуются.

Настройка необходимых параметров легко осуществляется согласно прилагаемой к прибору инструкции по эксплуатации. Конфигурирование ТРМ148 осуществляется последовательным соединением блоков прибора в единую систему. Соединение (и разъединение) элементов конфигурации осуществляется в строгой последовательности, изложенной ниже. Нарушение последовательности делает невозможным корректное задание конфигурации.[37]

Соединение элементов прибора выполняется в следующем порядке:

1. Указывается количество Объектов (параметр n.Obj).
2. Указывается количество Каналов в Объекте (параметр n.Ch). Прибор автоматически распределяет свободные Каналы между Объектами, указывая номера Каналов в параметре S.idx.
3. Для каждого Канала включается (или не включается) Регулятор (rEGL), Инспектор (insP) и Регистратор (OP.i).
4. Для каждого Канала задается тип вычислителя (CAL.t).
5. Для каждого задействованного входа Вычислителя указывается источник данных.[12]
6. Для каждого Канала с включенным Регулятором в параметрах Od.tP и r.Od.i задается подключение и номер преобразователя сигнала.
7. Для каждого включенного преобразователя сигнала задается количество подключенных блоков управления исполнительными

механизмами (БУИМ) типа Нагревателей и БУИМ типа Холодильников (параметр nPC).

8. Для каждого включенного БУИМ указывается его тип (параметр SE.P).

9. Для каждого включенного БУИМ указывается номера используемых им выходных элементов (параметр OP).

Наглядно принцип настройки отражен на общей схеме задания параметров ТРМ148 (рисунок 27)[21]

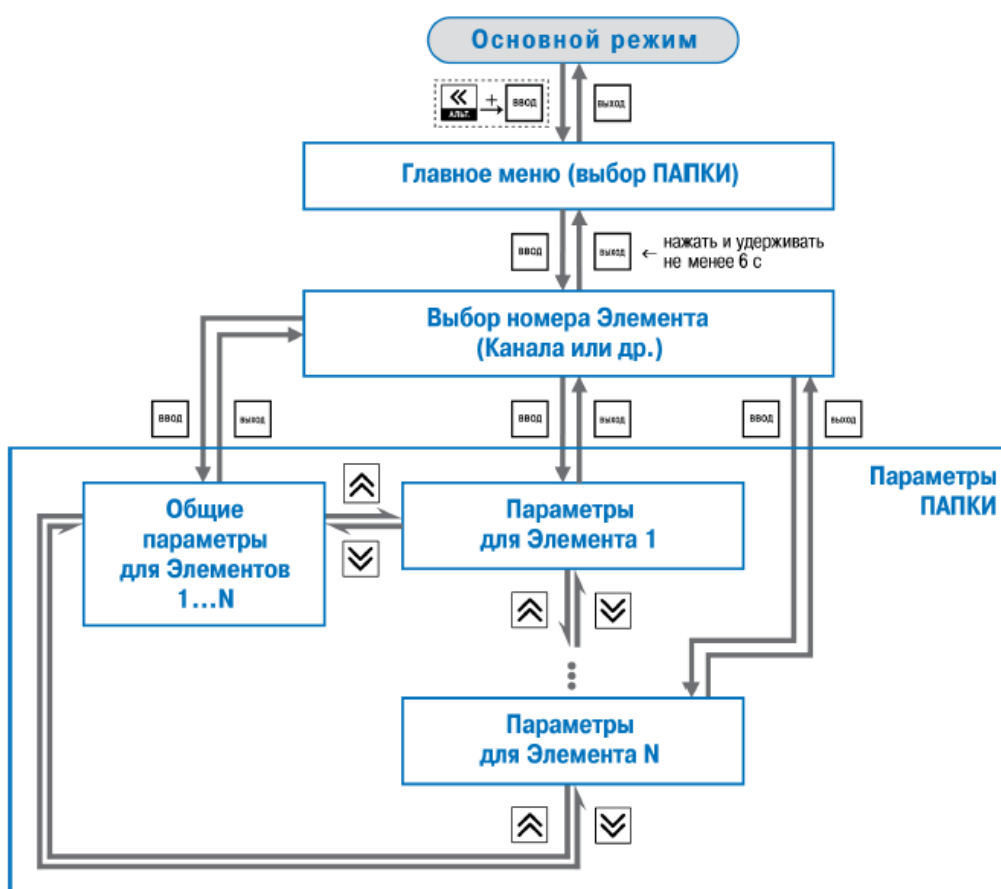


Рисунок 27 – общая схема задания параметров ТРМ148

Для нашей установки необходимо задать следующие условия: система должна нагреться с +24°C до +50°C, поддерживать данную температуру в течении 1 часа, затем вновь опуститься до 24 °C.

Двухпозиционное регулирование (on/off) является наиболее точным методом поддержания контролируемой величины (в нашем случае температуры). Настройка довольно сложна, но она может быть выполнена в автоматическом режиме. Потребуется только установить выходные данные и типы датчиков и других подключенных устройств.

Устанавливаем параметры по следующему алгоритму переходов меню:

1. Режим работы регулятора (rEG.t) => Двухпозиционный (CPr)

2. Датчик температуры.

параметры входов (SEnS) => тип датчика (Cn.t) => датчик TCM50 (r428)

3. Уставка (начальные показания) Y0=24°C

4. Использование инспектора при данном состоянии (E.USE)=>1.

Используется

Тип логики при данном состоянии (LG.tY) => 3. U-образная

Точка отсчета порогов инспектора (rF.Pt) => 0. относительные

Нижний порог (A.i.j) 24 °C

Верхний порог A.i.j 50 °C.

В инструкции к прибору подробно расписаны алгоритмы задания определенных параметров конфигурации. Пример задания параметров уставки продемонстрирован на рисунке 28 ниже.[26]

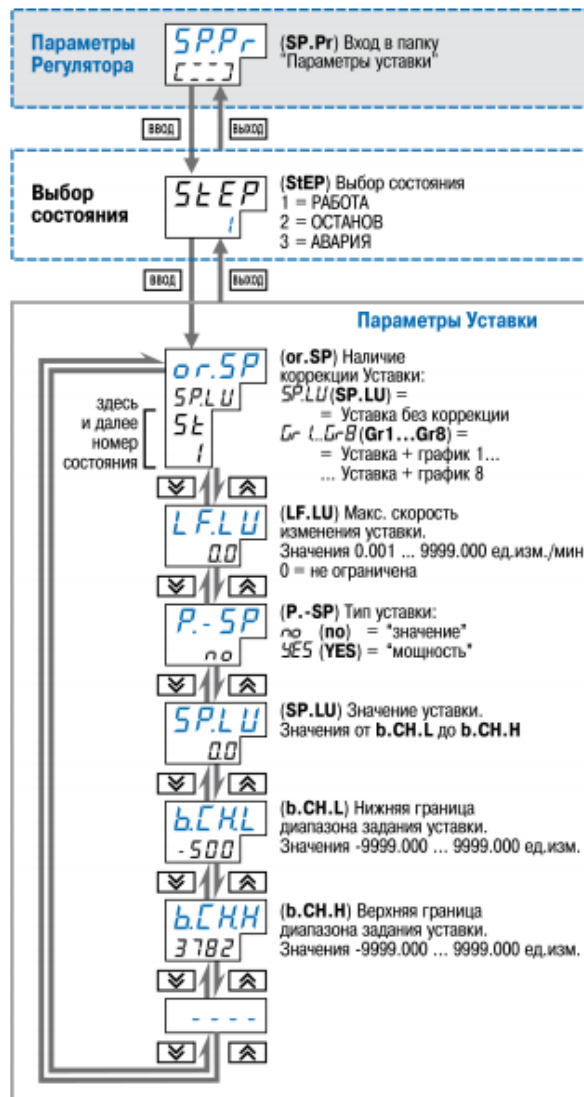


Рисунок 28 – Схема задания параметров уставки

Так же можно задать значение Гистерезиса двухпозиционного регулятора HYS. С. Состояние исполнительного механизма будет переключаться в тот момент, когда отклонение регулируемой величины от Уставки достигнет половины величины HYS.С.

Гистерезис – это зона, в которой происходит отложенное по достигаемому регулируемой величиной уровню переключение регулятора. Пока регулируемая величина находится внутри этой зоны, регулятор не переключается, а сохраняет прежнее состояние, которое было у него до входа в зону гистерезиса.

Гистерезис делится пополам и откладывается от уставки в обе стороны при нулевом значении зоны нечувствительности.

Графики на рисунке 29 приведены для случаев, когда в системе присутствует только один тип исполнительного механизма. Один из диапазонов регулирования – отрицательный (при применении «нагревателя») или положительный (при применении «холодильника») – обрезается, и выход прибора становится равным 0. Исключение отрицательной (положительной) зоны производится в ПС.[36]

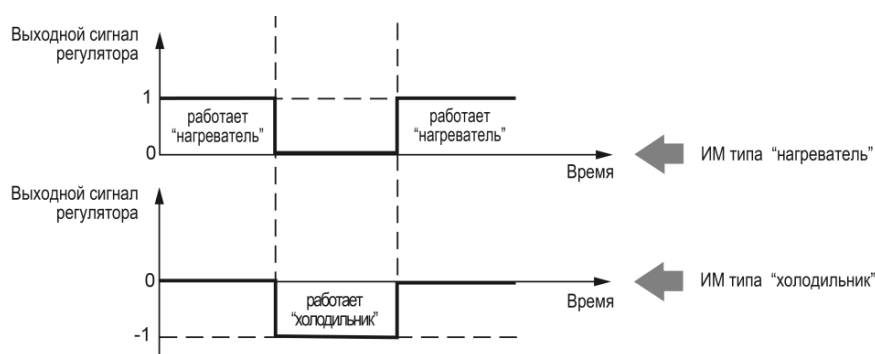


Рисунок 29 – принцип работы двухпозиционного регулятора

График работы нашей системы будет иметь следующий вид ($t_2-t_1=60$ мин).

Проще говоря, после установки всех необходимых параметров система работает по следующему принципу: есть начальные показания, при которых включается система нагрева.

Инспектор регулярно проверяет величину температуры на датчике и при достижении 50°C в какой-то момент времени t_1 подача тепла будет осуществляться для поддержания стабильной температуры 50°C на протяжении 1 часа. Затем нагрев будет отключен и будет происходить остывание до 24°C .[34]

Таким образом, терморегулятор ТРМ148 автоматизирует систему управления греющими линиями, облегчая и ускоряя технологические процессы на производстве.

6.2 Модуль автоматического управления, электрическая часть, принцип работы.

Вся система управления прогревом опалубки состоит из:

- шкафа управления,
- трех силовых шкафов,
- нагревательных кабельных секций (далее НКС),
- датчиков температуры (ДТ)
- соединительных кабелей.

Для равномерного и программируемого прогрева балки на опалубке размещены нагревательные кабельные секции и датчики температуры. Для поддержания заданной температуры группа НКС и один ДТ образуют замкнутый контур автоматического регулирования температуры. Вся система состоит из четырех восьмиканальных терморегуляторов ТРМ148 «ОВЕН» и 30 датчиков температуры ДТСО14-50М. 29 термодатчиков задействованы в системе прогрева опалубки и один датчик используется для контроля температуры воздуха окружающей среды. Для поддержания положительной температуры шкафа управления используется отдельный терморегулятор прогрева шкафа управления. Прогрев шкафа включается при температуре ниже плюс 5С.

Связь терморегуляторов ТРМ148 «ОВЕН» с компьютером осуществляется через преобразователь USB -RS485или RS 232-RS485.

Использование комплекса управляемого обогрева предусматривает обязательное предварительное проведение теплофизического расчета и подбор состава бетона. По результатам расчета назначается температурный режим созревания бетона, а комплекс, в следящем режиме, поддерживает заданные температуры во всех сечениях конструкции.

Комплекс включает в себя:

- блок управления, контроля и регистрации.
- блок распределения силового напряжения.

- электронагревательные элементы и датчики температуры, установленных в опалубке.

Для реализации электрического обогрева необходимо наличие специального оборудования. Кроме греющих проводов или электродов понадобится источник питания с заданными параметрами тока и напряжения на выходе. [16]

7 Разработка и внедрение на производство системы автоматизированного обогрева опалубки для мостовых балок.

Разработка системы автоматизированного обогрева опалубки для мостовых балок включает в себя три основные части.

1. Создание нагревательной системы.
2. Создание системы управления.
3. Создание алгоритмов управления.

Нагревательная система включает в себя линии нагрева. Эти линии состоят из нагревательных элементов, которые располагаются в каждой ячейки на правом и левом борту опалубки, а также в поддоне. Нагревательные элементы те же что и на лабораторном стенде. На рисунке 30 изображена схема подключения правого борта. На данной схеме можно увидеть распаечные коробки к которым подведен силовой кабель. Силовой кабель МКШ состоит из семи жил. Фаза А В и С дублируются и занимают 6 жил. Седьмая жила является нейтральной. Также в распаечной коробке подведены информационные кабели для термодатчиков. К распаечной коробке №1 подведен силовой кабель 1-7. Через силовой кабель 1-7 подключаются нагревательные линии 11 и 12. К распаечной коробке №2 подведен силовой кабель 1-8 и через него подключены каналы 13-14. Также в распаечную коробку №2 приходит информационный кабель через который подключаются термодатчика с перечисленных каналов. К распаечной коробке №3 подведены силовые кабели 2-9 и 2-10. Через данные силовые

кабели подводятся питание к четырем центральным линиям правого борта (линии 21,22,23,24). К распаечной коробке №4 приходит только информационный кабель, к которому подключены термодатчики с перечисленных линий. К распаечной коробке №5 приходит силовой кабель 3-11 на который подключены каналы 31,32. Также в эту коробку подходит информационный кабель на который подведены термодатчики с линий 31,32,33,34. В распаечную коробку №6 заводится силовой кабель 3-12, который подключен к линии 33,34.

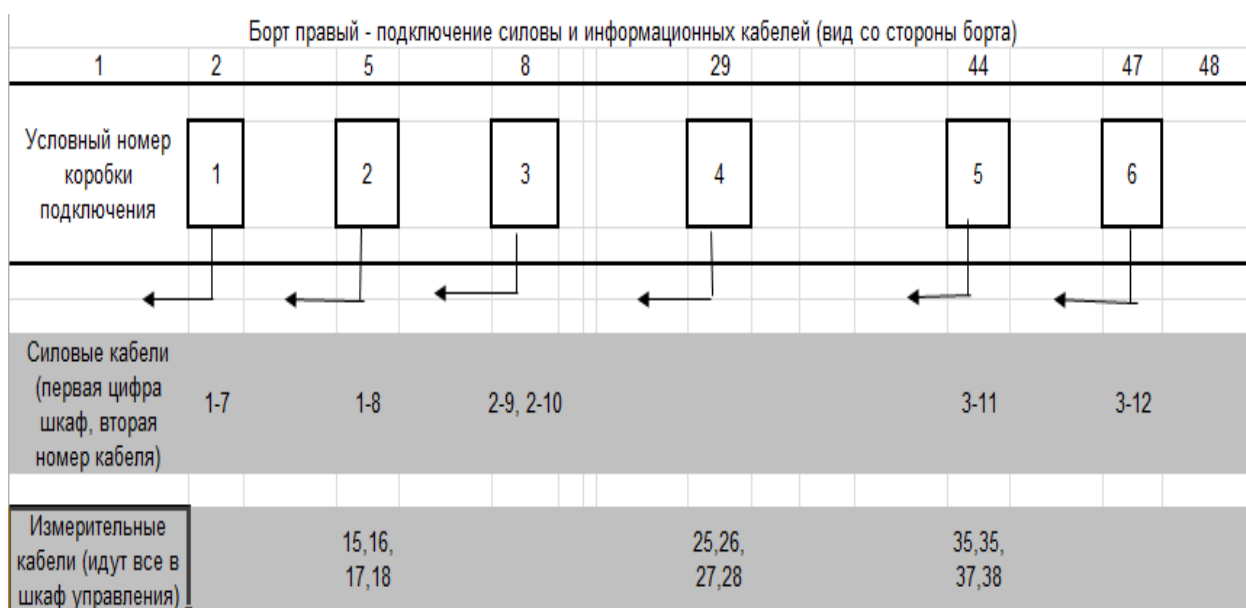


Рисунок 30 - схема подключения правого борта

На рисунке 31 изображена схема соединения для левого борта. Силовые и информационные коробки подводятся по тому же принципу что и для правого борта. Изменена лишь нумерация.



Рисунок 31 – схема подключения левого борта

На рисунке 32 изображена схема соединения для поддона. На поддоне размещено 10 распаечных коробок. Ко всем нечетным коробкам подводятся силовые кабели, их нумерация изображена на рисунке. С нечетных коробок приходят перемычки. На коробке 1,3,5,7,9 также подведен информационный кабель к нему подключены термодатчики с нагревательных линий поддона (41,42,43,44,45)

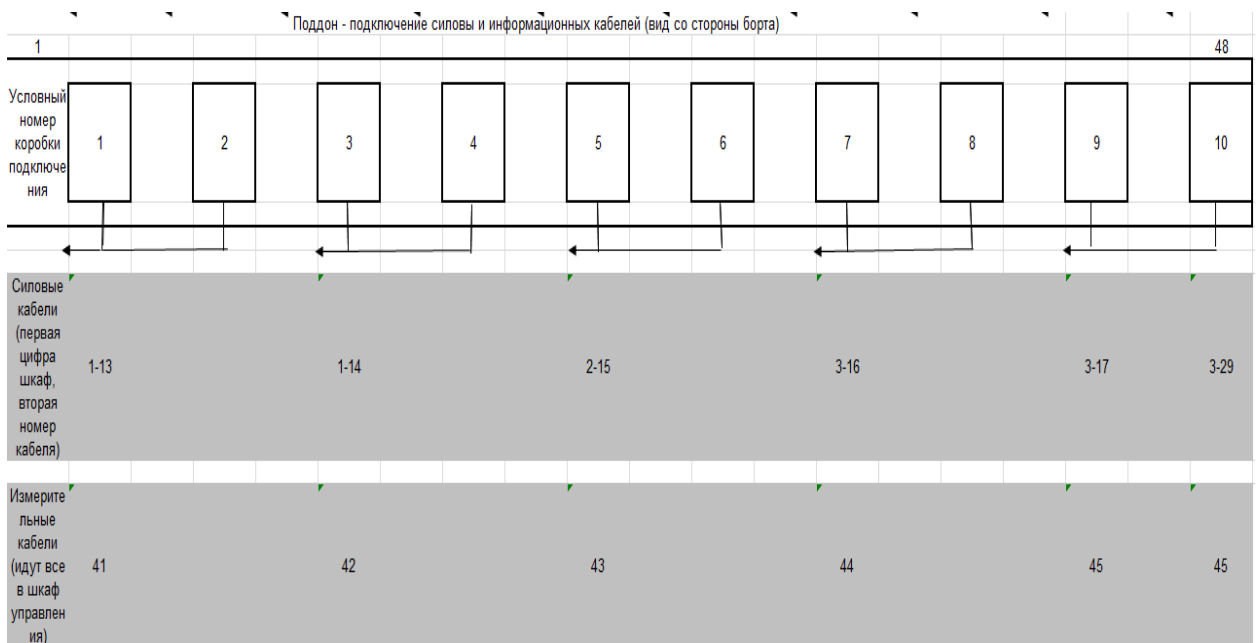


Рисунок 32 – схема подключения поддона

На рисунке 33 изображена опалубка для мостовых балок с установленными на нее автоматизированным обогревом. Нагревательные элементы укрыты экраном из фольгированного термоизолятора.



Рисунок 33 – опалубка на производстве

На рисунке 34 изображены нагревательные элементы установленные в поддон опалубки.



Рисунок 34 – поддон опалубки с нагревательными элементами

На рисунке 35 изображены три силовых шкафа и один измерительный. Три силовых шкафа распределяют нагрузку на три секции (начало, середина и конец). Начало включает в себя 6 метров правого борта и левого борта. И такую же длину поддона. Те нагревательные элементы, что смонтированы на этом промежутке управляются первым силовым шкафом. Участок под названием секция «Середина» включает в себя 12 м опалубки. Обогрев на ней включается вторым силовым шкафом. Оставшаяся секция под названием конец идентична по своим размерам секции «Начало» и управляется 3 силовым шкафом. Все силовые шкафы имеют однотипную конструкцию. Коммутация силовых линий происходит посредством магнитных пускателей. Магнитные пускатели в свою очередь управляются через реле. Сигнал 24В на реле приходит с информационного кабеля подведенного из измерительного шкафа. Основными элементами располагающимися в измерительном шкафу являются 4 программируемых терморегулятора компании ОВЕН (ТРМ142). К данным терморегуляторам подключаются информационные кабели со всех термодатчиков расположенных на опалубке.



Рисунок 35 – установленные на производстве силовые шкафы и измерительный шкаф

На рисунке 36 изображена группа реле входящих в один из силовых шкафов.



Рисунок 36 – реле силового шкафа

На рисунке 37 изображены магнитные пускатели коммутирующие силовые линии в одном из силовых шкафов.

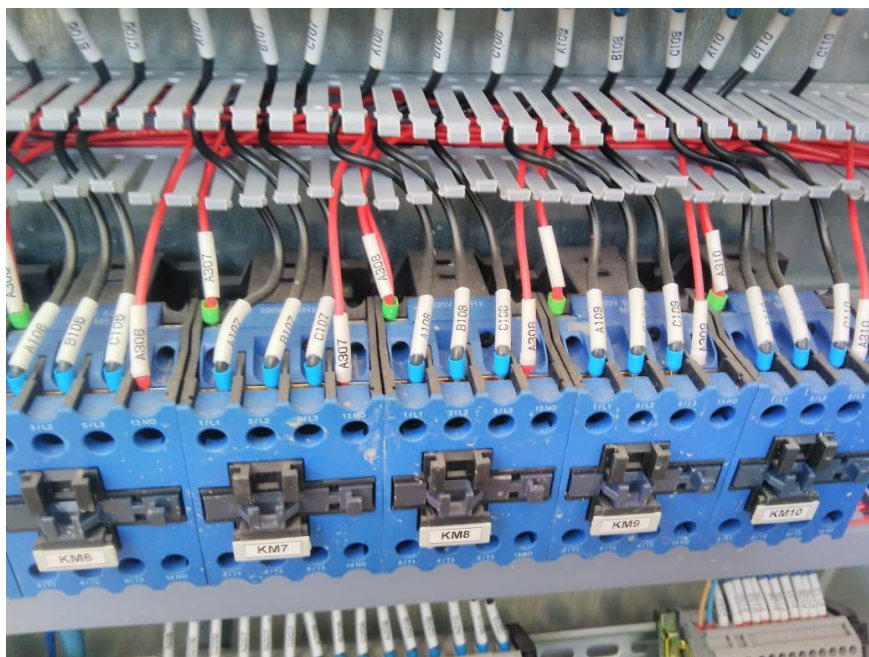


Рисунок 37 – магнитные пускатели

На рисунке 38 изображена клеммная колодка с кабелем управления с которого сигнал приходит на реле в одном из силовых шкафов.

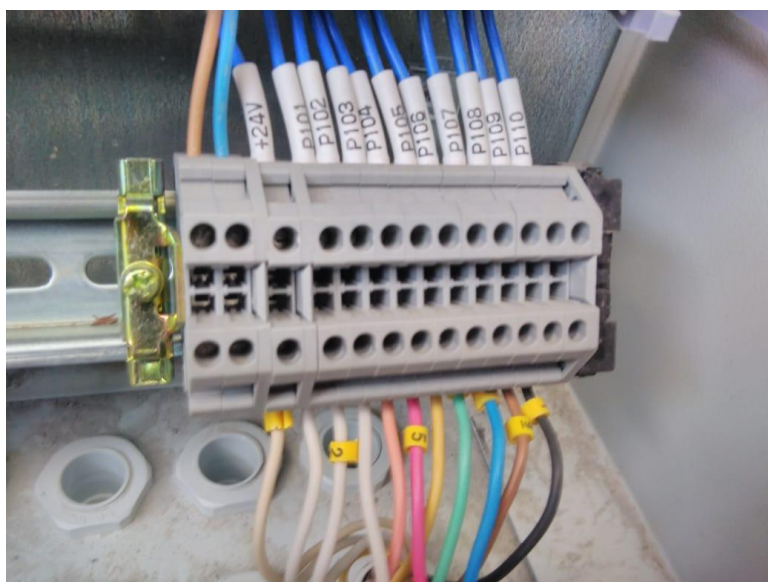


Рисунок 38 – клеммная колодка с проводами управления

После того как система автоматизированного прогрева опалубке для мостовых балок смонтирована необходимо загрузить программное обеспечение на терморегуляторы, а также установить программу для задания изотермических графиков.

Технолог вводит параметры для построения графика управления в следующей последовательности:

- температуру изотермы 1 (обычно 20-25 градС)
- время выдержки изотермы 1 в часах. Минимальное время 0,1ч (6 минут)
- скорость нагрева (градусы в час) или время нагрева в часах. Минимальное время 0,1ч
- температуру изотермы 2. Максимальная температура 70С.
- время прогрева в часах. Минимальное время 0,1ч .
- скорость остывания (градусы в час)) или время остывания в часах.
- температуру изотермы 3, до которой будет происходить остывание.

После построения графика необходимо ему присвоить имя и сохранить.

Далее наступает отладка и проверка работы системы. Для начала в программе задается тестовый график, который загружается на терморегулятор. После чего нагревательные линии начинают подключаться и система стремиться нагреть опалубку до соответствующей графику уставки. В это время важно проверить что линии нагрева на опалубке включаются соответственно тем что изображены в окне программы. Также нужно убедиться что датчики соответствуют номеру своей линии. После чего необходимо проверить температура показываемая датчиками не больше и не меньше той температуры что задана по графику. При такой проверке важно выждать определенное время когда температура сравняется с заданной температурой, так как в начале работы температура будет соответствовать окружающей среде и проанализировать соответствие будет невозможно.

На рисунке 39 изображено окно программы с тестовым графиком, где цикл обогрева завершён. На нем видно кривые построенные из показаний датчиков с каждой линии. Исходя из этих данных можно сделать вывод что тестирование системы прошло успешно, т.к. кривые на тех участках графика где шел набор температуры и ее поддержания следуют заданным значениям. На том участке графика где шло остывание важно убедиться, что кривые не опережают графика. Если кривые отстают от графика, как изображено на рисунке, то это не критично.

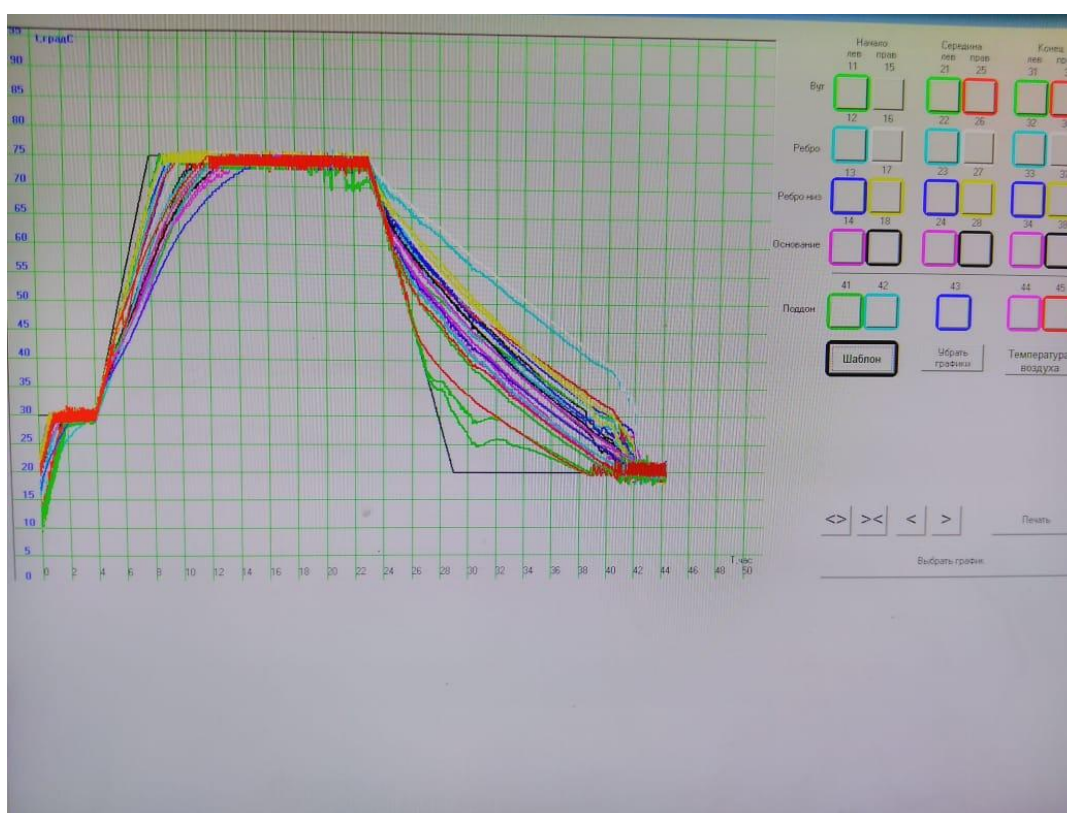


Рисунок 39 – окно программы с тестовым графиком

Включение системы

1. Включить общий рубильник
2. Открыть информационный шкаф и включить автомат на 2 А, должны загореться информационные табло с отображением температуры датчиков. (Из за емкостной нагрузки автомат иногда при первоначальном включении срабатывает, это не является неисправностью, если повторное его включение не приводит к срабатыванию)

Включить 3 силовых шкафа переводя переключатель (кнопку) в состояние ВКЛ. И услышав характерный звук включения пускателя.

Удостоверится, что переключатель (кнопка) перевода системы в ручной режим в состоянии ВЫКЛ. (В таком состоянии переключатели кнопки) отдельных линий нагрева не будут работать и включать малые пускатели)

В пункте управления открыв на компьютере окно программы нужно удостоверится что есть связь с контроллерами, а затем проверить что все датчики отображают температуру (если нет, то проверяем все контактные соединения ведущие от датчика на целостность, а так же проверяем датчик)

Переводим переключатель(кнопку) в ручной режим и включаем по очереди прогрев отдельных каналов, для измерения токов. Сверяем измеренные токи с таблицей токов.

(если выявлено несоответствие, то ищем неполадку в нагревателях)
После переводим переключатели(кнопки) ручного режима на всех шкафах в состояние ВЫКЛ

Когда все этапы проверки пройдены, можно создавать в программе график и запускать систему в рабочем автоматическом режиме в соответствии с «Руководством оператора».

На последующих двух рисунках изображены снимки с телевизора. Они приведены здесь для наглядности. На них можно увидеть ,что нагревательные элементы работают. А также они позволяют убедиться в температурном соответствии.

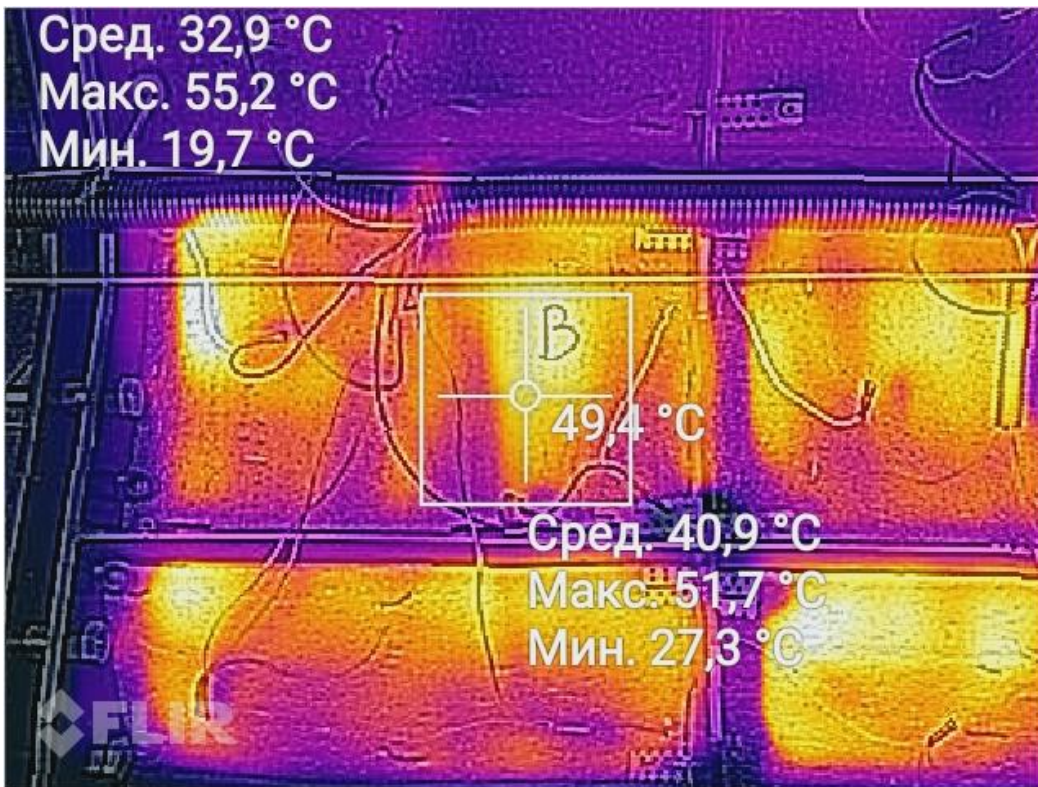


Рисунок 40 – тепловой снимок нагревательного элемента с края опалубки

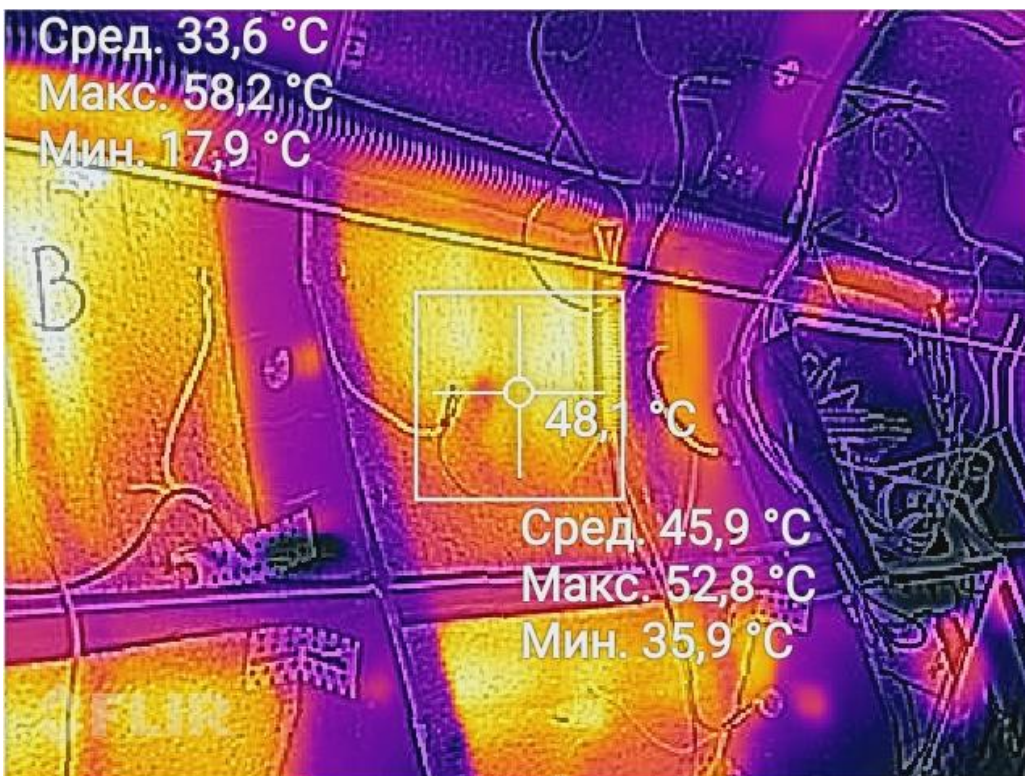


Рисунок 41 – снимок нагревательного элемента по центру опалубки

Для проверки системы нагрева открываем шкаф управления и включаем автоматический выключатель на 2А. При этом должны будут загореться индикаторы на ТРМ.

Силовые шкафы должны быть выключены. Далее закрываем шкаф и направляемся к компьютеру.

Открываем программу «Б24-23» из папки Б24 (Предварительно убедившись что к компьютеру подключен сетевой интерфейс RS485

При правильном подключении компьютера к шкафу управления на экране компьютера появится картинка.

Пример изображен на рисунке 42

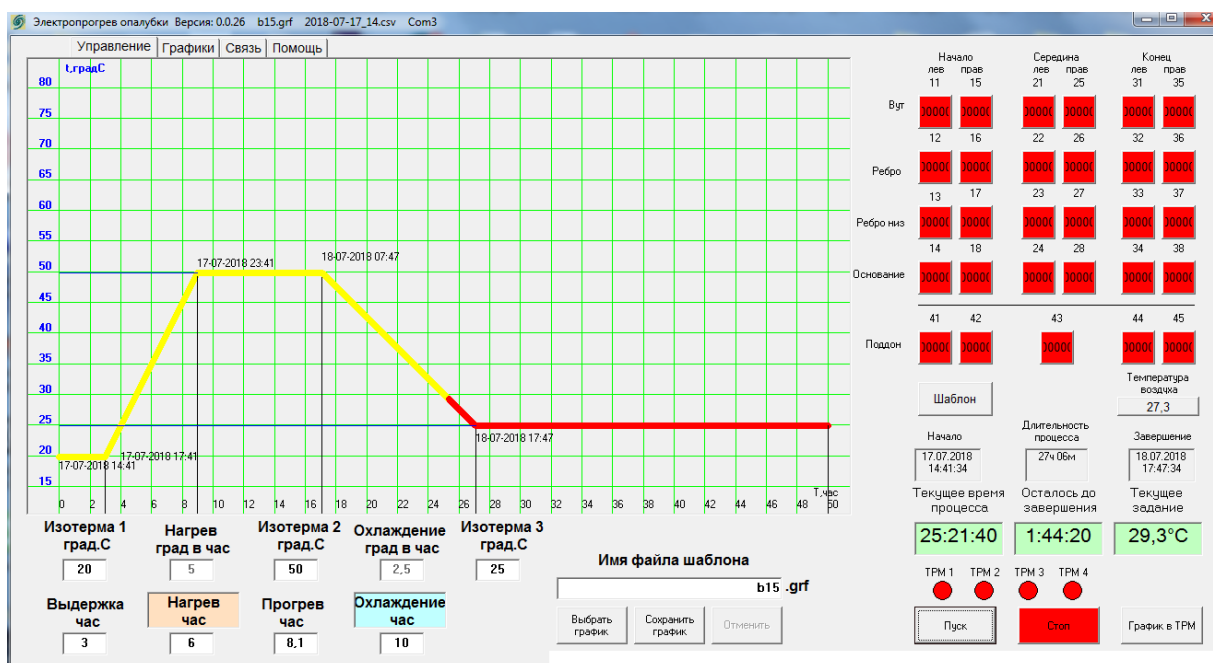


Рисунок 42 – пример окна программы

На пиктограммах кнопок измерительных каналов должны появиться показания температуры с датчиков (показания отличаются +/- 5 градусов)

Неподключенные датчики или с коротким замыканием высветятся красным цветом.

В этом случае нужно восстановить работу неисправных измерительных каналов.

Для проверки работоспособности системы необходимо создать тестовый график со следующими параметрами:

Изотерма 1 = на 5 градусов выше температуры воздуха.

Выдержка = 2 ч

Нагрев = 10 градусов\час

Изотерма 2 = градусов выше температуры изотермы 1.

Время нагрева = 2 час

Охлаждение = 10 градусов\час до температуры изотермы 1.

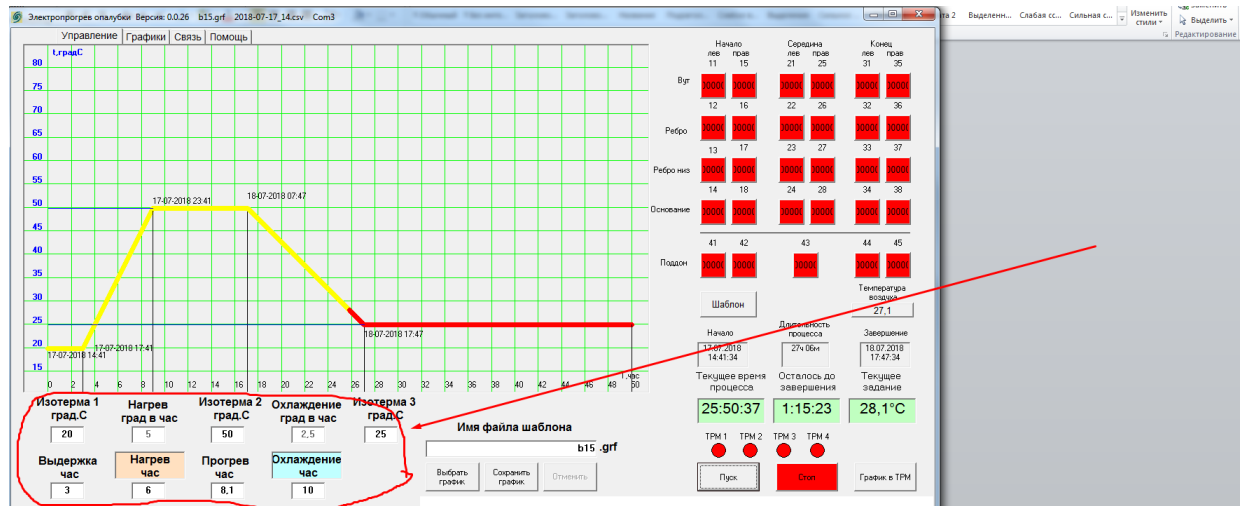


Рисунок 42- продолжение примера 1

1. Нажимаем кнопку « график в ТРМ»

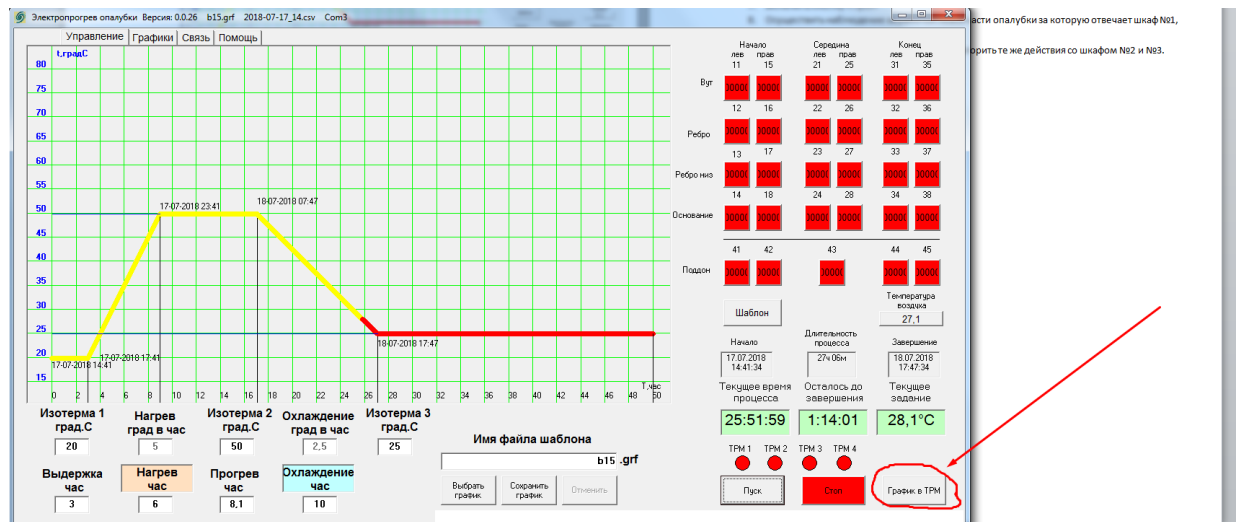


Рисунок 43 – продолжение примера 2

2. Включить кнопку «Пуск»

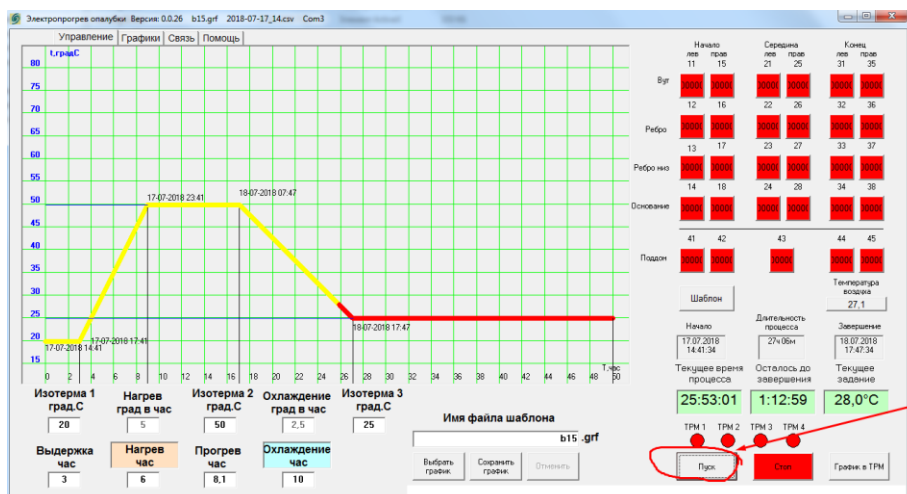


Рисунок 44 - Продолжение примера 3

Через некоторое время начнут включаться каналы управления. При включении пиктограмма кнопки окрашивается в зеленый цвет. После включения всех каналов необходимо включить 1 канал силового шкафа №1. Для чего внутри шкафа необходимо включить вводной автомат на 250А, расцепитель с помощью автоматического выключателя и 3 автоматических выключателя 1 ого канала.

При правильной работе канала нагреватели наберут необходимую температуру и пускатель канала выключиться. Во время работы нагревателей проверить токовыми клещами протекание тона по каждому НКС. Убедившись, что все работает исправно, повторить те же действия по всем остальным каналам в т.ч в шкафах №2 и №3.

Заключение

В магистерской диссертации целями являлись разработка и анализ автоматизированной системы обогрева для изготовления мостовых балок. Были проведены анализ и подбор составляющих элементов системы. Разработан алгоритм управления системой, а также обозначены способы сбора и анализа данных. Работа системы отлажена и протестирована на примере лабораторного стенда. После чего данная система была доработана

до рабочей установки, которая предназначена для работы в реальных условиях с установкой на производстве. Разработанная система была установлена, запущена в работу и отлажена.

Список используемых источников

1. Федотов А.В. Анализ систем автоматического регулирования при проектировании средств автоматизации: Учеб. пособие. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 1995. – 48 с.
2. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
3. Справочник по элементам радиоэлектронных устройств. Под ред. В.Н. Дулина, М.С. Жука. – М.: Энергия, 1977. – 576 с.
4. Федотов А.В. Теория автоматического управления: Конспект лекций – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – 176с.
5. Ботов А. Перевод статьи «Просто о ПИД-алгоритмах», roboforum.ru Wiki, URL: http://roboforum.ru/wiki/Перевод_статьи_%22Просто_о_ПИД-алгоритмах%22.
6. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002, -832 с., ISBN: 5-93208-119-8, 0-201-30864-9
7. Лукас В.А. Теория автоматического управления: Учеб. пособие для вузов. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Недра, 1990. -416 с.
8. Первозванский А. А. Курс теории автоматического управления: Учебное пособие для вузов. М.: Наука, 1986. 616 с.
9. Филиппов С.А. Робототехника для детей и родителей. – СПб.: Наука, 2011. -263 с.
10. Минаков Ю.А., Кононова О.В., Анисимов С.Н. Исследование обогрева бетона стыковых зон каркасных конструкций в термоактивной опалубке // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-6.
11. Остарков О. А. Технологии прогрева бетона в зимнее время // Молодой ученый. — 2016. — №8

12. А. Б. Вальт, А. А. Овчинников. Способы термообработки бетона при возведении монолитных конструкций // Известия КГТУ. — 2008. — № 13.
13. Т. А. Краснова, Т. А. Затворницкая, С. И. Усков, Д. А. Игнатъев, Б. Г. Носкин. Круглый стол: Зимнее бетонирование — продолжение сезона // Технологии бетонов. —2012.
14. М. О. Дудин, Н. И. Ватин, Ю. Г. Барабанщиков. Моделирование набора прочности бетона в программе ELCUT при прогреве монолитных конструкции □ проводом //Magazine of Civil Engineering. — 2015. —№ 2.
15. М.О. Дудин, Ю.Г. Барабанщиков. Специфика монтажа электрического провода в технологии прогрева бетона // Строительство уникальных зданий □ и сооружений □. —2015. —№ 9.
16. Абрамов В.С. Методы и технические средства тепловой обработки бетона на основе применения электропроводных полимеров / В.С. Абрамов, С.А. Амбарцумян. М.; 1998.
17. П.Андриевский С. Н. Экспериментальные исследования при зимнем бетонировании буронабивных свай / С. Н. Андриевский, Н. А. Гуненко, Т. В. Завалишина//Тр. НГАСУ. Т. 5. - № 3 (18). - 2002. - С. 12-21.
18. Арбенъев А. С. Исследование влияния электроразогрева смеси на связывание воды цементным тестом и камнем / А. С. Арбенъев, М. М. Масленников // Изв. вузов. Стр-во и арх-ра. 1974. - № 2. - С. 89-94.
19. Бородин И.Ф. Приборы контроля и управления влажностно-тепловыми процессами / И.Ф. Бородин, С.В. Мищенко. М. : Изд-во «Россельхозиздат», 1985. - 239 с.
20. Вегинер Р.В. Электропрогрев бетонных и железобетонных конструкций / Р.В. Вегинер.- М.-Л.: Стройиздат. 1953.- С. 71-119.
21. Дастин, Э. Тестирование программного обеспечения. Внедрение, управление и автоматизация / Э. Дастин, Д. Рэшка, Д. Пол; Пер. с англ. М. Павлов. — М.: Лори, 2013. — 567 с.

22. Ключев, А.С. Автоматизация настройки систем управления / А.С. Ключев, В.Я. Ротач, В.Ф. Кузицин. — М.: Альянс, 2015. — 272 с.
23. Теплоэнергетика и теплотехника: справочник/Б.С. Белосельский, А.А. Александров, А.В. Клименко и др. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 564 с.
24. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоатомиздат, 1981. 416 с.
25. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высш. школа, 1967. 559 с.
26. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование.: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, 2015. - 48 с.
27. Silver-plated product
Available at: <https://patents.google.com/patent/US10072348B2/en> (accessed 18 April 2019)
28. Resistance thermometer probe
Available
at: <https://patents.google.com/patent/US6341892B1/en> (accessed 9 April 2019)
29. Thermoregulator. 2019.
Available at: <https://patents.google.com/patent/US2645461A/en> (accessed 15 April 2019).
30. Electronic thermoregulator 2019.
Available at: <https://patents.google.com/patent/US2838644A/en> (accessed 18 May 2019)
31. Combination current sensor and relay 2019.
Available at: <https://patents.google.com/patent/US8094425B2/en?q=current&q=relay&oq=current+relay>
(accessed 20 may 2019)