

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Энергетический

Кафедра Автоматизации технологических процессов и электротехники

Направление подготовки 15.03.04 - Автоматизация технологических
процессов и производств

Направленность (профиль) образовательной программы Автоматизация
технологических процессов и производств в энергетике

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ


Зав. кафедрой

 О.В. Скрипко
« 26 » 06 2021 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

На тему: Автоматизированная система контроля температуры фунда-
мента зданий.


Исполнитель
студент группы 741об

 21.06.21 В.В. Толстошеев
(подпись, дата)

Руководитель
доцент, канд. техн. наук

 25.06.21 М.Д. Штыкин
(подпись, дата)

Консультант по безопасности
и экологичности
доцент, канд. физ-мат. наук

 11.06.2021 В.Н. Аверьянов
(подпись, дата)

Нормоконтроль
профессор, д-р техн. наук.

 26.06.21 О.В. Скрипко
(подпись, дата)

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Энергетический
Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

УТВЕРЖДАЮ

И.о.зав. кафедрой

О.В. Скрипко

подпись И. О. Фамилия

« 25 » 06 2021 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента 741 группы Толстошеева
Виктора Вячеславовича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Автоматизированная
система контроля температуры

(утверждена приказом от 23.04.21. № 812-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной проекта: 28 июня 2021 года.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе:
Автоматизированная система контроля температуры фундамента зданий

4. Содержание выпускной квалификационной работы: 1) разработка
системы автоматического контроля температуры фундамента; 2)
разработка системы автоматического управления температурой
фундамента; 3) разработка программно-аппаратного управления
температурой бетона.

5. Перечень материалов приложения (наличие чертежей, графиков, схем,
программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.):

Лист 1: Функциональная схема системы автоматического управления

Лист 2: Принципиальная электрическая схема

Лист 3: Алгоритм программы многоточечного измерителя температуры

Лист 4: Окна визуализации системы автоматического управления

Лист 5: Модель системы

Лист 6: Модель и прототип измерительного устройства

6. Дата выдачи задания 02.11.2020

Руководитель выпускной квалификационной работы: Штыкин Михаил
Дмитриевич, доцент, канд. тех. наук

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, учебное звание)

Задание принял к исполнению (дата): 02.11.2020

Штыкин Михаил

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит XX с., XX рисунков, XX таблиц, XX приложений, XX источников.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ, ОБОГРЕВ БЕТОНА, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ, ИНТЕРФЕЙС 1-WIRE, ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, АЛГОРИТМ ПРОГРАММЫ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

В данной бакалаврской работе произведено изучение и последующая автоматизация системы обогрева бетона в фундаменте, при отрицательной температуре окружающей среды или близким к отрицательным или отрицательным.

В рамках данной работы поставлены цели: изучение существующих методов обогрева бетона, ознакомление с распространенными средствами контроля и измерения температуры цементных смесей, проработка предпочтительного метода обогрева и разработка системы автоматизации выбранного метода. Разработка функциональной, принципиальной электрической схемы, расчет необходимых параметров, составление алгоритма управляющей программы и последующее написание кода, расчет проектирование монтажной схемы, изучение полученной системы в программах моделирования.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Исследование объекта автоматизации	7
1.1 Основные типы фундаментов	7
1.2 Технология армирования фундаментов	9
1.3 Гидратация бетона	10
1.3.1 Стадии гидратации	10
1.3.2 Оптимальный температурный режим и влажность цемента	11
1.4 Способы поддержания температуры цементного раствора	13
1.4.1 Химические присадки	13
1.4.2 Электрообогрев	Ошибка! Закладка не определена.
1.5 Система обогрева, автоматизируемая в проекте	14
1.5.1 Греющий кабель ПНСВ	14
1.5.2 Подключение ПНСВ	15
1.5.3 Расчет длины ПНСВ	15
1.6 Выбор трансформатора для обогрева.	16
1.6.1 Трансформаторы СПБ-40, СПБ-63, СПБ-80 и СПБ-100	16
1.6.2 Трансформатор ТСДЗ – 80	18
1.7 Выбор и проверка питающего кабеля	20
1.7.1 Выбор сечения кабельной линии	20
1.7.2 Проверка по допустимой потере напряжения	20
1.7.3 Проверка кабеля на термическую стойкость токам КЗ.	21
1.8 Моделирование автоматизируемой системы	22
1.8.1 Нагревающая способность провода ПНСВ	22
1.9 Предложения по автоматизации	26
2 Разработка функциональной схемы автоматизации	27
3 Выбор элементов системы контроля температуры	29
3.1 Выбор измерительного устройства	29
3.1.1 Термоизмеритель «ТЕРЕМ-3.2»	29
3.1.2 Система «БЕРКУТ-ПБС1»	32

3.2	Разработка измерительного устройства	34
3.2.1	Датчики	34
3.2.2	Микроконтроллер	37
3.2.3	Органы управления	39
3.2.4	Устранение дребезга контактов	40
3.2.5	Индикаторы	42
3.2.6	Драйвера индикаторов	43
3.2.7	Конвертер сети МАХ485	44
3.2.8	Выбор сопротивлений	45
4	Выбор элементов системы автоматического управления	46
4.1	Система автоматического управления Ошибка! Закладка не определена.	
4.1.1	Выбор ПЛК	46
4.1.2	Выбор коммутационной аппаратуры	47
4.1.3	Модули расширения	48
5	Разработка принципиальной электрической схемы	50
5.1	Структурная схема Ошибка! Закладка не определена.	
5.1.1	Структурная схема измерителя Ошибка! Закладка не определена.	
5.1.1	Структурна схема системы Ошибка! Закладка не определена.	
5.2	Принципиальная электрическая схема	50
5.2.1	ПЭС измерителя Ошибка! Закладка не определена.	
5.2.2	ПЭС системы	51
6	Разработка программ	53
6.1	Библиотеки	53
6.1.1	Описание библиотеки OneWire.h	53
6.1.2	Описание библиотеки TM1637.h	54
6.2	Разработка программы управления сбором температур	57
6.2.1	Разработка приложения	58
6.2.2	Реализация RS 485 и протокола ModBus в среде Arduino.	58
6.3	Разработка управляющей программы системы	58
6.4	Шита управления Ошибка! Закладка не определена.	

7	Безопасность жизнедеятельности	61
7.1	Опасности поражения человека электрическим током	61
7.1.1	Последствия	61
7.1.2	Основные факторы, влияющие на степень поражения	61
7.2	Основные схемы защиты от поражения электрическим током	64
7.2.1	Защитное заземление	64
7.2.2	Защитное зануление	65
7.2.3	Схема защиты в разработанной системе	66
7.3	Устройства защиты	67
7.3.1	Выбор автоматов защиты от токов утечки	Ошибка! Закладка не определена.
7.3.2	Выбор автоматов защиты от КЗ	Ошибка! Закладка не определена.
	Заключение	68
	Библиографический список	69

ВВЕДЕНИЕ

Скорость набора прочности бетонными конструкциями сильно зависит от их температуры во время твердения, а при её снижении до отрицательных значений может привести не только к остановке процессов созревания, но и при последующем оттаивании к изменению структуры материала и в дальнейшем к ухудшению эксплуатационных качеств бетона и формированию значительных дефектов. А т.к. строительство в России ведется круглогодично, то обеспечение заданной прочности в зимних условиях – важная задача.

Соблюдение необходимых режимов для формирования бетона в зимних условиях обычно обеспечивается сочетанием использования различных добавок с поддержанием заданной технологией температуры путём прогрева твердеющей конструкции. Распространённым способом ускорения процессов затвердевания конструкции является электропрогрев бетона.

Для соблюдения всех технологических требований к процессу вне зависимости от окружающей температуры и для оптимизации расходов на электроэнергию, особенно в ночное время и выходные, необходим надежный контроль прогрева бетона.

1 ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

Фундамент – самая важная часть любого строения, поскольку на неё приходится основная нагрузка, ввиду чего его заливка является важным этапом строительства, нарушения в технологии, которой неизбежно сказывается на надежности всей конструкции и может привести к преждевременному обрушению.

Требования к эксплуатационным характеристикам фундаментов изложены в следующих стандартах:

- СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия»;
- СНиП 3.02.01-87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты»;
- СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции»;
- СНиП 12-01-2004 «Организация строительства»;
- СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»;
- СП 50-101-2004 «Свод правил по проектированию и строительству»;
- ГОСТ 20522-96 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний»;
- ГОСТ 25100-95 «Грунты. Классификация»;
- ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету».

1.1 Основные типы фундаментов

Ввиду необходимой надежности, при выборе фундамента всегда отдается предпочтение наиболее надежным вариантам исполнения. Как правило, основания зданий представляют из себя монолитные железобетонные конструкции.

По способу исполнения фундаменты разделяют на два типа: ленточные и плитные, представленные на рисунке 1 и рисунке 2, соответственно.

Ленточный фундамент- это сплошная железобетонная лента, которая ус-

танавливается на месте возведения всех несущих стен. Данный тип фундамента является более дешевым вариантом, в сравнении с плитным. Однако его использование нецелесообразно, если строительство ведется в местах распространения зыбких грунтов.



Рисунок 1—Ленточный фундамент

Плитный фундамент представляет собой монолитную железобетонную плиту, которая сооружается под всем домом. Такой тип фундамента является оптимальным для строительства зданий и сооружений в регионах с повышенной сейсмической активностью, а также на пльвунах и других проблемных почвах.

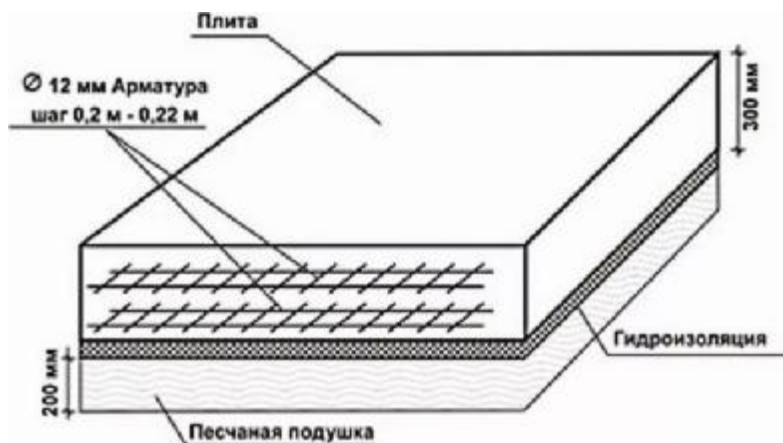


Рисунок 2 – Плитный фундамент

1.2 Технология армирования фундаментов

Для повышения прочности, как уже было отмечено ранее, фундаменты возводят в виде композитных структур, где имеется матрица (армирующий элемент) и наполнитель (демпфирующий элемент). Для получения необходимых физических характеристик бетона, а именно достаточную прочность монолитной конструкции, как устойчивость к статическому давлению и растяжению и их динамическим перепадам, необходимо наличие прочного армирующего каркаса.

Армирующим компонентом фундамента является рифлёная стальная (используемая в наиболее ответственных строениях) или стекловолоконная (обладающая меньшей устойчивостью к физическим воздействиям, но обладающая более низкой ценой, в сравнении со стальной) арматура сечением 12-16 мм. Армирование производится посредством создания надежного пространственного каркаса, в котором соединение прутьев между собой производится с помощью вязальной проволоки. Армирующий каркас представлен на рисунке 3.

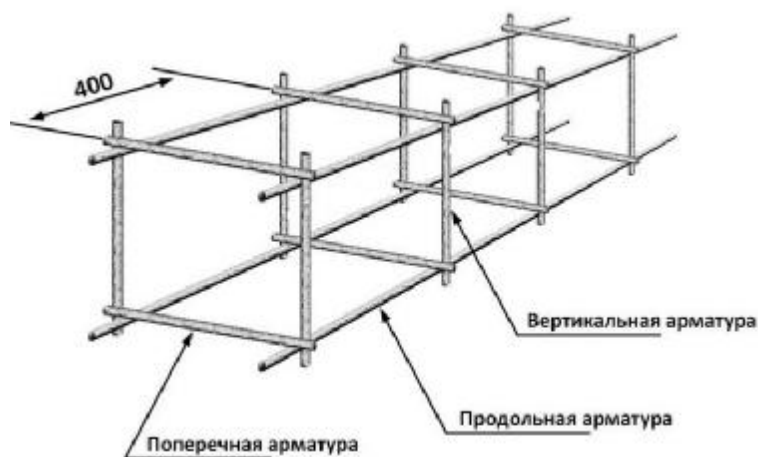


Рисунок 3 – Армирование фундамента

В процессе армирования ленточного фундамента на дно траншеи на расстоянии 30-50 мм от стенок и с применением подставок высотой 30-50 мм ук-

ладывается 2-3 продольных прута (в зависимости от ширины ленты), которые связываются между собой поперечинами через 300-400 мм. Далее к ним крепятся вертикальные прутья длиной, которая должна быть равной глубине будущего фундамента. Затем через каждые 300-400 мм по высоте прикручивается горизонтальный каркас из продольных и поперечных арматурных стержней.

Армирующий каркас для плитного фундамента делается в виде двухрядной горизонтальной сетки с размерами ячеек 200x200 мм. Они устанавливаются тоже на подставки, чтобы арматуру покрывал защитный слой бетона. Второй ряд армирующей сетки располагается на расстоянии 30-50 мм от предполагаемой верхней поверхности основания.

1.3 Гидратация бетона

Гидратацией бетона называют процесс затвердевания раствора вследствие его химического взаимодействия с водой. Данный процесс вбирает в себя ряд физико-химических реакций, и подробно описан в учебном пособии А. С. Брыкова – Гидратация портландцемента (СПб.:СПбГТИ(ТУ), 2008. – 30 с).

В данной работе процесс гидратации будет изложен в упрощенной форме, в виде основных стадий и, что более важно для создания системы автоматического управления, с точки зрения требований к оптимальному режиму, для получения желаемого качества конечного продукта.

1.3.1 Стадии гидратации

Процесс гидратации удобно представить в виде двух основных этапов: стадии «схватывания» и стадии набора прочности бетона. На рисунке 4 изображено образование молекулярных связей.



Рисунок 4 – Процесс гидратации бетона:

- а) образование цементного клея вокруг зерен;
- б) образование кристаллов в растворе;
- в) связывание кристаллов, набор прочности.

Стадией схватывания, как правило называют временной период от 6 до 20 часов, в зависимости от температурного режима. На этой стадии происходит схватывание первоначальный захват цементными гранулами находящейся в цементном растворе влаги и образование начальных связей между гранулами. В результате данного процесса образуется «цементный клей», свидетельствующий о начале химической реакции между цементными зернами и влагой, для чего раствор должен быть неподвижным.

В течении последующий 28 дней происходит набор прочности бетона, в течении которого конкретная марка бетона приобретает заявленные свойства. В дальнейшем, данный процесс замедляется, но не останавливается.

1.3.2 Оптимальный температурный режим и влажность цемента

Для получения качественного гидратированного цемента необходимо соблюдение оптимальных значений влажности и, исходя из физико-химических свойств воды, температурного режима на значительном промежутке времени. Ввиду чего, необходимо проводить либо обогрев, либо использовать строительную химию, тогда схватывание будет происходить постепенно и бетон получится высокого качества.

По данным предоставленным на сайте «Блог Никола Пронина» от 04.04.2019г лабораторные исследования показали, что оптимальной температурой окружающего воздуха для начала и продолжения процесса твердения бетона является 20-30 градусов (таблица 1). При этом влажность на его поверхности должна составлять не менее 90 процентов, что достигается путем полива и накрытия глыбы полиэтиленовой пленкой или рубероидом. Описанные условия позволят камню набрать 70-типроцентную прочность в течение первых пяти – семи дней после заливки опалубки.

Таблица 1 – Зависимость прочности от суточной температуры бетона.

Марка бетона	Срок твердения, суток	Прочность бетона на сжатие, % от завленной					
		3	5	9	12	23	35
М200 – М300 на портландцементе М-400, М-500	1	3	5	9	12	23	35
	2	6	12	19	25	40	55
	3	8	18	27	37	50	65
	5	12	28	38	50	65	80
	7	15	35	48	58	75	90
	14	20	50	62	72	90	100
	28	25	65	77	85	100	-
Среднесуточная температура, °С		-3	0	+5	+10	+20	+30

Из представленных данных видно, что срокнеобходимый для завершения процесса гидратации значительно зависит от температуры цементного раствора. А снижение температуры с +20°С до +5°С, как утверждает автор статьи, увеличивает время твердения бетона до 5 раз. Но особенно резко замедляется реакция при дальнейшем снижении до 0°С. А при отрицательной температуре гидратация прекращается, т.к. вода замерзает.

При оттаивании воды процесс твердения возобновляется, но уже при деформированной структуре бетона. 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.

Для полной гидратации цементного зерна необходимо присутствие 0,4-кратного количества воды от его массы. Из нее только 60% (т. е. 0,25 массы цемента) связывается химически. Остальные 40% исходной воды остаются в порах геля слабо связанными. Размер пор около 3-10~7 мм. Они неизбежны и служат причиной тонкопористого строения гелевой массы. Схематически объемные изменения представлены на рисунке 5.

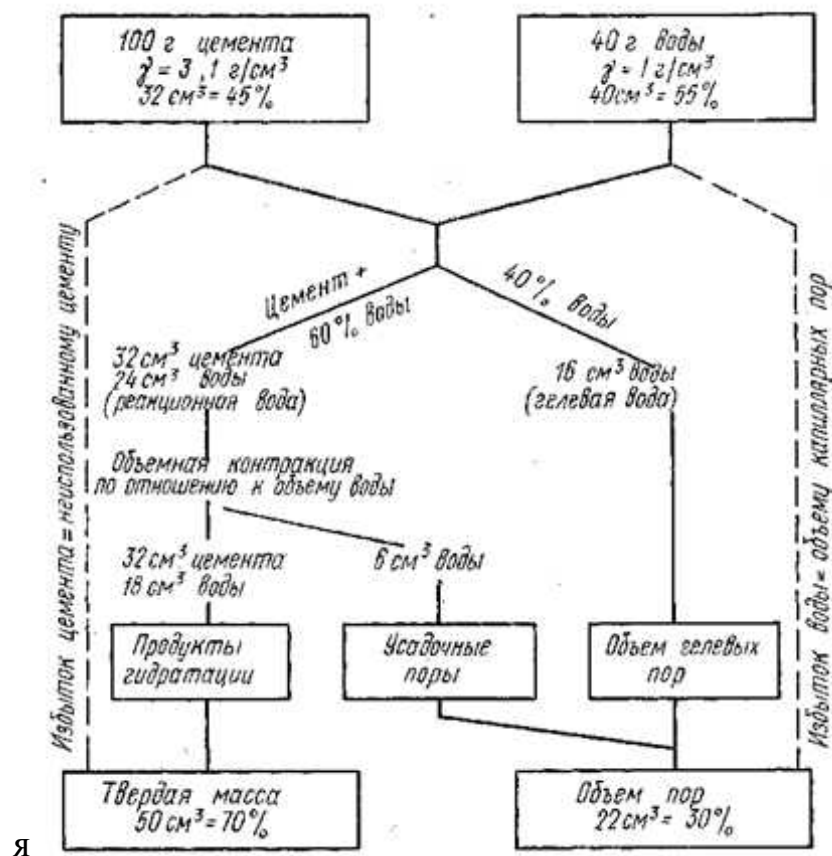


Рисунок 5 – Зависимость характеристик бетона от содержания воды

Применение противоморозных добавок, в таком случае можно проводить работы и при наличии отрицательных температур. Только после того как настанет потепление, начнется застывание цемента, но в этом случае, использовать конструкцию можно только после полной гидратации цемента.

1.4 Способы поддержания температуры цементного раствора

Существует множество способов обеспечения гидратации бетона в условиях пониженной среднесуточной температуры, основными среди которых можно назвать паровые, электрические способы обогрева и использование химических присадок для повышения морозостойчивости смеси.

1.4.1 Химические присадки

Так же применяют различные присадки в виде солей натрия или карбонатов, в результате чего процесс гидратации может происходить при температуре в $-20 \text{ }^\circ\text{C}$. Однако их наличие в смеси пагубно сказывается на арматуре, начинается процесс коррозии. Поэтому использовать их можно только в неармирован-

ной конструкции. Также, при использовании противоморозных добавок, в зимний период, бетон наберёт прочность не более 30%. При наступлении плюсовой температуры произойдет оттаивание и дальнейший процесс набора прочности. Поэтому в бетоне, работающем при динамических нагрузках (фундамент под вибростанки, молоты и т.д.), использовать добавки нельзя.

1.5 Система обогрева, автоматизируемая в проекте

Для упрощения процесса внедрения системы автоматического управления температурой бетона фундамента, будем ориентироваться на распространённые решения по обогреву цементных растворов в зимнее время.

Наиболее распространённым способом поддержания температуры бетона в период его затвердевания является использование высокоомного греющего провода ПНСВ. Данный метод позволяет осуществлять прогрев бетона при наибольшем КПД, в сравнении с методами индукционного обогрева, обогрева опалубки и инфракрасного обогрева опалубки. При том, данный метод требует меньшей технической подготовки, в сравнении с паровым прогревом бетона.

1.5.1 Греющий кабель ПНСВ

Греющий кабель ПНСВ широко используется для обогрева бетона при отрицательных температурах. Данный кабель представляет из себя стальной высокоомный провод в пластичной изоляции, рисунок 6.



Рисунок 6 – Греющий кабель ПНСВ

Таблица 1 – Параметры греющего кабеля ПНСВ 1.2 мм

Параметр	Значение
Максимально возможная температура нагрева	80 °С
Минимальная температура укладки	15 °С
Рекомендованный радиус для изгиба провода	26 мм
Срок полезной службы сертифицированного кабеля	16 лет
Напряжение переменного тока	380В
Рекомендуемое напряжение источника питания	60-70В;
Сопротивление одного метра жилы провода	0,15 Ом
Удельная мощность	1,5-2,5 кВт/м ³
Расход провода составляет	50 - 60 п.м./м ³

1.5.2 Подключение ПНСВ

Провод ПНСВ подключается через понижающий трансформатор, с необходимым номиналом по схеме «звезда» или «треугольник», как представлено на рисунке 9а и 9б соответственно.

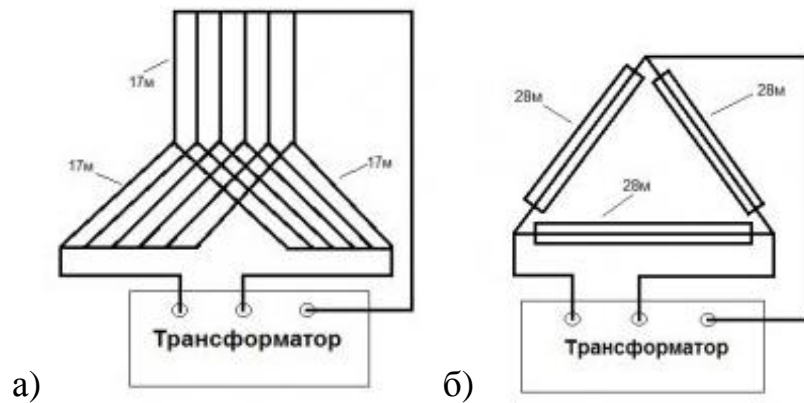


Рисунок 7 – подключение кабеля ПНСВ

а) подключение «звездой» б) подключение «треугольник»

1.5.3 Расчет длины ПНСВ

При расчете длины кабеля необходимо учитывать ряд факторов, основным из которых является количество тепла, подаваемое к монолиту с целью его качественного затвердевания. На данный параметр влияет температура воздуха, форма и размеры конструкции, влажность, а также наличие теплоизоляции.

Также нужно определить шаг укладки провода, учитывая в расчетах среднюю длину петли (28-36 м). Если температура воздуха составляет -50°C , то шаг должен быть 200 мм, -100°C – 160 мм, -150°C – 120 мм.

Рассчитывая длину кабеля, нужно знать его мощность. Для провода диаметром 1,2 мм – 0,015 Ом/м, 2 мм – 0,044 Ом/м, 3 мм – 0,02 Ом/м. Величина рабочего тока не должна превышать 16 А. В случае с ПНСВ 1,2 мм удельное сопротивление будет равняться 38,4 Вт. Для расчета суммарной мощности нужно это число умножить на длину использованного провода.

1.6 Выбор трансформатора для обогрева.

Для расчета напряжения понижающего трансформатора используется тот же принцип, что был описан ранее.

Если диаметр ПНСВ составляет 1,2 мм, а всего его уложено 100 м, то общее сопротивление будет равняться 15 Ом. Сила тока все та же (16 А). Напряжение – это произведение сопротивления и силы тока. На данном этапе выберем готовый трансформатор для обогрева бетона из представленных на рынке.

1.6.1 Трансформаторы СПБ-40, СПБ-63, СПБ-80 и СПБ-100

Станции прогрева бетона СПБ-40, СПБ-63, СПБ-80 и СПБ-100 предназначены для питания электрических нагревательных цепей током промышленной частоты, выполненных из специального греющего провода типа ПНСВ и уложенного в элемент конструкции до начала бетонирования. Для примера, общий вид станции СПБ-80 приведен на рисунке 8.



Рисунок 8 – трансформатор СПБ-80

Климатическое исполнение станций «У», категория размещения 2, тип

атмосферы II по ГОСТ 15150 и ГОСТ 15543, но для работы при значении температуры окружающей среды от - 40°С до + 10°С. Принципиальная электрическая схема трансформатора представлена на рисунке 9.

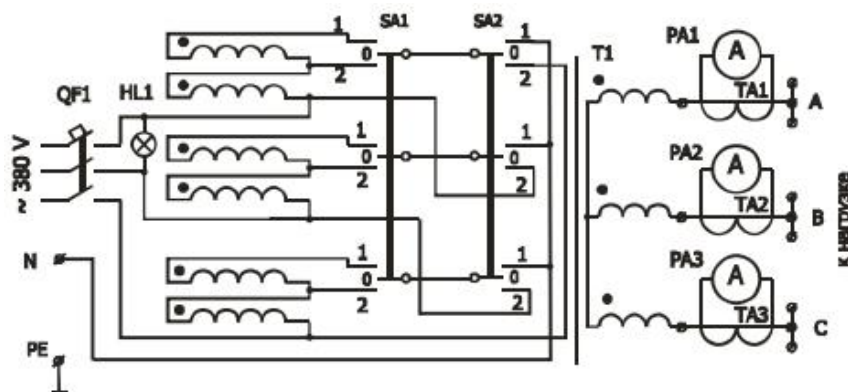


Рисунок 9 – Схема трансформатора СПБ-80

Паспортные характеристики на данные трансформаторы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики СПБ-40, СПБ-63, СПБ-80, СПБ-100

Параметр	СПБ-40		СПБ-63		СПБ-80		СПБ-100	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
Режим работы	Непрерывный							
Степень защиты	IP23							
Число ступеней одного линейного напряжения	4							
Номинальные параметры:								
Напряжение фазной питающей сети	380 В							
Частота сети	50 Гц							
Значения рабочих напряжений	3,5 В; 45 В; 60 В; 80 В							
Ток нагрузки на одной ступени, не более	290 А		455 А		580 А		725 А	
Мощность нагрузки	40 кВт		63 кВт		80 кВт		100 кВт	
Первичный ток	65 А		100 А		127 А		157 А	
Первичная мощность	42 кВт		66 кВт		83 кВт		103 кВт	
Масса, не более	305 кг	270 кг	360 кг	320 кг	385 кг	335 кг	400 кг	350 кг
Габаритные размеры (дхшхв)	850х700х1000 мм							

Стоимость трансформаторов СПБ-40, СПБ-63, СПБ-80 и СПБ-100 составляет в районе 150 000р.

1.6.2 Трансформатор ТСДЗ – 80

Трансформатор ТСДЗ-80 -силовой трехфазный, с воздушной принудительной циркуляцией воздуха защищенного исполнения. Предназначены для электропрогрева бетона и мерзлого грунта. Способны работать в широком диапазоне температур окружающего воздуха: от -45°С до +20°С. Внешний вид трансформатора представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Трансформатор ТСДЗ – 80

Данный трансформатор имеет выходы для клемного подключения питающего проводана 45 В, 55 В и 75 В для каждой фазы. Принципиальная схема трансформатора представлена на рисунке 11.

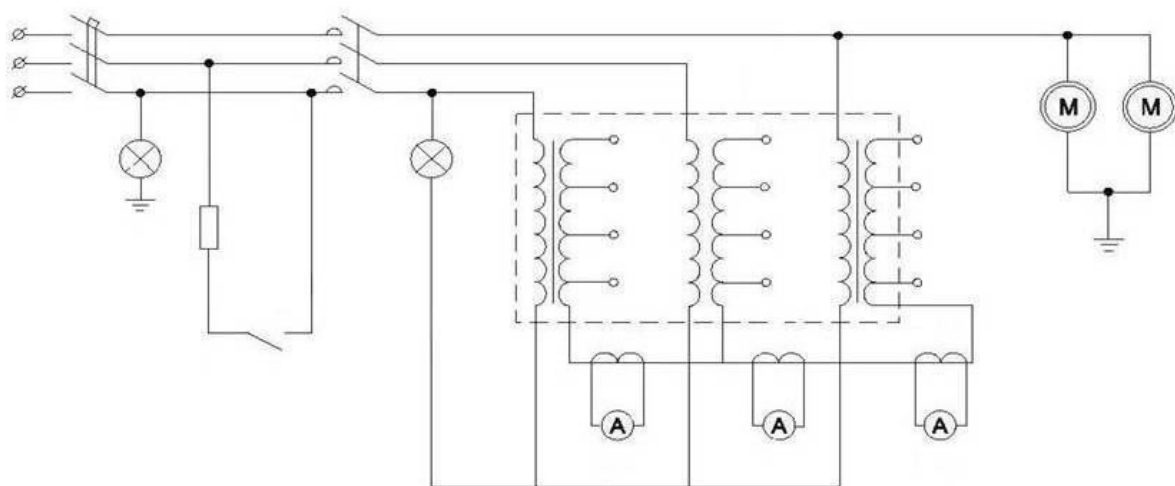


Рисунок 11 – Схема трансформатора ТСДЗ – 80

Таблица 3 – Характеристики трансформатора ТСДЗ – 80

Параметр	Значение
Номинальная мощность,	80 КВА
Схемы и группы соединений	У/У
Ток холостого хода	5 А
Выходные напряжения	45, 55, 75 В
Степень защиты	IP23
Габаритные размеры	730x600x830 мм
Масса, не более	320 кг

Напряжение:	Допустимые фазные токи:
45В	600 А
55В	500 А
75В	450 А

Ориентировочная стоимость данного трансформатора ТСДЗ-80 составляет около 80 000 р.

1.7 Выбор и проверка питающего кабеля

Виду более низкой цены, меньших габаритных характеристик трансформатора ТСДЗ-80 в сравнении с СПБ-80, при сопоставимой номинальной мощности, выбираем трансформатор ТСДЗ-80.

Данный трансформатор, как было указано ранее, имеет 3 клемных выхода на каждую фазу с напряжением 45, 55 и 75 В. Рассчитаем тип и сечение питающего кабеля, с расчетом на максимально возможное напряжение равное 75 В и предполагаемую длину и количество контуров греющего кабеля ПНСВ, которая составляет, исходя из проделанных ранее расчетов, 200м общей длины контуров.

1.7.1 Выбор сечения кабельной линии

Выбор сечения кабельной линии осуществляется по расчётному току на высшей стороне трансформатора:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} \quad (1)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение на стороне ВН трансформатора, кВ. Из чего находим $I=15А$.

Выбирается кабель типа ААШп 3х16 с допустимым длительным током $I_{д.н}=75 А$.

1.7.2 Проверка по допустимой потере напряжения

Выбранный кабель проверяется по допустимой потере напряжения, по формуле:

$$\Delta U = \sqrt{3} I_p (r_{уд} \cos \varphi + x_{уд} \sin \varphi) \cdot L, \quad (2)$$

где I_p – расчётный ток в КЛ, А;

$r_{уд}$, $x_{уд}$ – удельное активное и индуктивное сопротивление КЛ;

L – длина КЛ;

$\cos \varphi = P_p / S_p = 253 / 325,7 = 0,78$; $\sin \varphi = Q / S = 205,1 / 325,7 = 0,63$;

Для кабеля ААШп 3х16: $r_{уд} = 1,94$ Ом/км, $x_{уд} = 0,113$ Ом/км;

$$\Delta U = 18,8 \sqrt{3} (1,94 \cdot 0,78 + 0,113 \cdot 0,63) \cdot 1,5 = 77 \text{ В}; \quad (3)$$

$$\delta U = \frac{77}{10000} 100\% = 0,77 \%, \text{ потеря напряжения составляет менее } 5 \%, \text{ что}$$

допустимо.

1.7.3 Проверка кабеля на термическую стойкость токам КЗ.

Ток КЗ при мощности КЗ $S_{кз} = 250$ МВА, составляет:

$$I_{кз} = \frac{S_{кз}}{\sqrt{3} \cdot U_c} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 13,746 \text{ кА}. \quad (4)$$

Термически стойкое к токам КЗ сечение s_r , жил кабеля, определяется по формуле:

$$s_m = \frac{I_{\infty} \sqrt{t_n}}{K_m} \quad (5)$$

где I_{∞} – установившееся значение тока КЗ, А;

K_r – температурный коэффициент, который для алюминиевого кабеля с бумажной изоляцией на напряжение 10 кВ составляет $94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$;

t_n – приведённое время КЗ, принимается 0,2 с.

Тогда

$$s_m = \frac{13746\sqrt{0,2}}{95} = 64,7 \text{ мм}^2. \quad (6)$$

Выбирается кабель сечением 70 мм², ААШп 3х70.

1.8 Моделирование автоматизируемой системы

Для создания модели системы будем использовать среду MathLabSimulink, для связи ее с системой управления будем использовать библиотеку компонентов «OPSTools».

1.8.1 Нагревающая способность провода ПНСВ

Для расчета нагрева провода ПНСВ будем использовать формулы – Джоуля Ленца, вывод которой выглядит следующим образом:

$$A = I \cdot U \cdot t; \quad (7)$$

Где, А – работа электрического тока, U - напряжение в сети, I–ток, протекающий через проводник, t–время нахождения проводника под напряжением.

$$U = I \cdot R; \quad (8)$$

Закон Ома, выражающий зависимость между сопротивлением элементов цепи, напряжением, создаваемым источником и током в цепи.

$$A = Q; \quad (9)$$

Если проводник не выполняет иной работы, то всю работу электрического тока в проводнике можно выразить через его нагрев. Отсюда следует следующая зависимость:

$$Q = I \cdot U \cdot t; \quad (10)$$

Для упрощения процесса моделирования выразим теплоту через напряжение:

$$Q = \frac{U^2 \cdot t}{R}; \quad (11)$$

Из предполагаемого расхода 50м. на 1м³, предполагаем, что один греющий контур, состоящий из трёх проводов ПНСВ, обогревает 12м³. Отсюда получаем что сопротивление между фазами, создаваемое проводом ПНСВ сечения 1.2 мм равняется 3 Ом.

Поскольку максимальный ток для данного кабеля не должна превышать 16А, выберем источник питания на 45В. В этом случае величина тока составит 15А.

Из выше указанных значений получаем количество теплоты, выделяемое проводом ПНСВ в единицу времени: $Q/t = 3375$ Дж/сек.

Расчетные 200м греющего провода погружены в 4 кубических метра бетона. Теплоемкость бетона составляет около 2.5 кДж/(м³К). Таким образом за 1 секунду 200 м провода разогреют 4 кубических метра бетона на 0,3375 °С.

Однако нужно понимать, что данный расчет не учитывает теплопроводности хлорвинилового покрытия кабеля ПНСВ и бетона, что делает его верным лишь при условии отсутствия утечки теплоты от фундамента и лишь на небольших отрезках. Однако теперь мы знаем, что снижение температуры более чем на треть одного градуса в секунду сделает невозможной реализацию системы обогрева.

Таким образом, статическая характеристика выделения теплоты проводом провода ПНСВ будет представлять из себя наклонную линию, наклон которой будет зависеть квадратично от напряжения и обратно пропорционален сопротивлению кабеля.

Поскольку любой объект по температуре представляет из себя элемент с инерцией, что можно представить, как инерционное звено первого порядка.

Получаем модель Провода, со следующей характеристикой, представленными на рисунке 12.

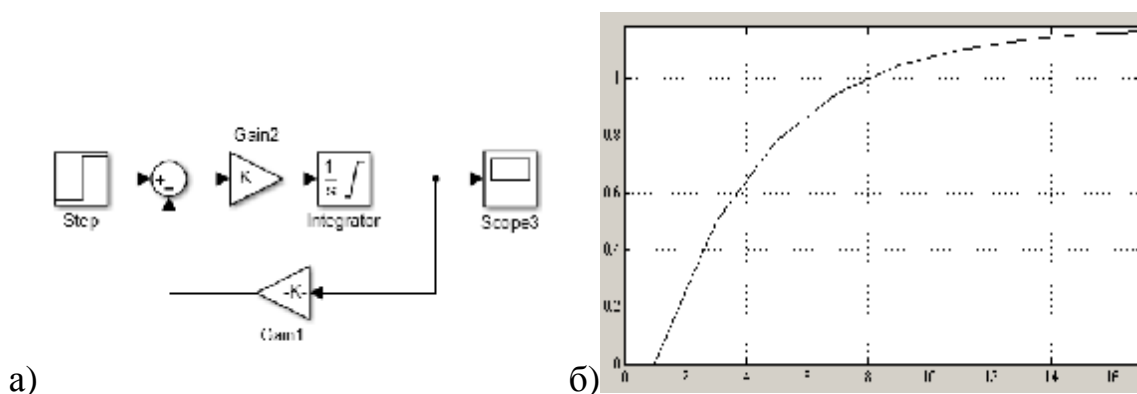


Рисунок 12 – Результат моделирования нагрева провода

а) Модель ПНСВ; б) его разгонная характеристика

Как уже было выявлено ранее, при идеальных условиях, провод длиной 200м, будучи подключенным к источнику напряжения выдающему 45В, нагревает 4м^3 бетона, за единицу времени, примерно на треть градуса. Таким образом, наша модель, если добиться максимальной аутентичности блоков, будет «нагреваться» до желаемых $20\text{ }^\circ\text{C}$ за 60 секунд, что говорит о значительных задержках в реакции системы на управляющее воздействие.

Для удобства работы мы не будем соблюдать точные значения всех параметров модели, но постараемся добиться схожего поведения с реальным объектом, при условии снижения времени разгона системы. Подобные модификации модели не составят проблем в дальнейшем, так-как нашей основной целью является определение необходимых параметров регулятора для наиболее качественного управления, а не подробная проработка объекта.

Для создания модели реле воспользуемся объектом «Swich», как показано на рисунке 13.

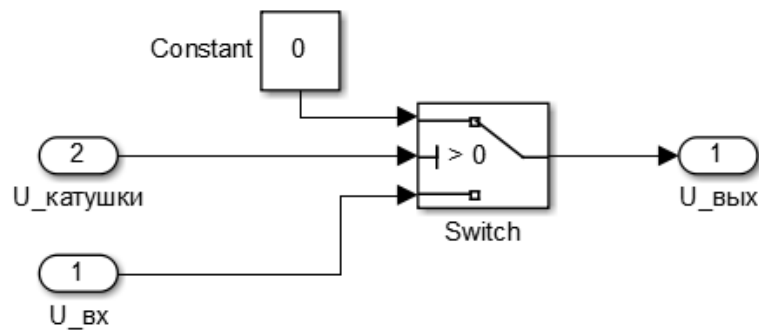


Рисунок 13 – Модель контактора

Создаем объект «Фундамент», который будет эмитировать обогреваемый системой бетон (рисунок 14).

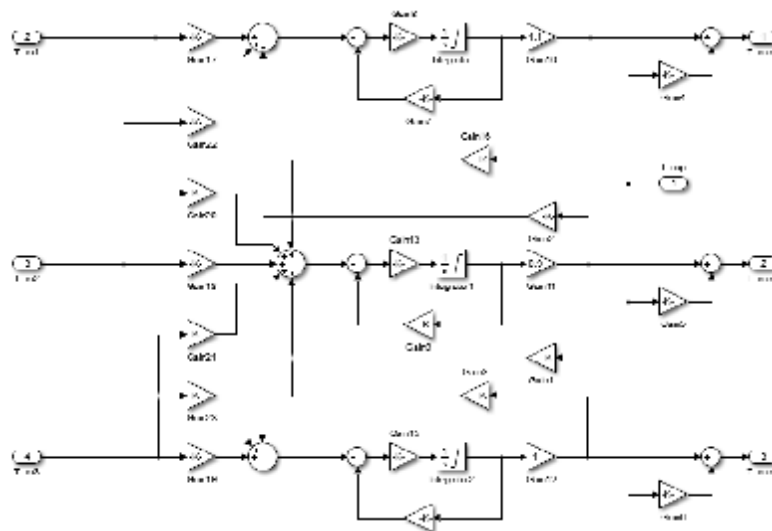


Рисунок 14 – Модель фундамента

Для имитации целого объекта, поделенного на контуры «обвяжем» каждый контур связью с соседним, через небольшой коэффициент, как бы дав контурам возможность нагревать друг друга. При этом разделим условное тепло приходящее с провода ПНСВ, между контурами так, чтобы при включении соседнего контура, наблюдаемый контур тоже получал дополнительное тепло.

Итоговая модель обогревающей системы представлена на рисунке 15.

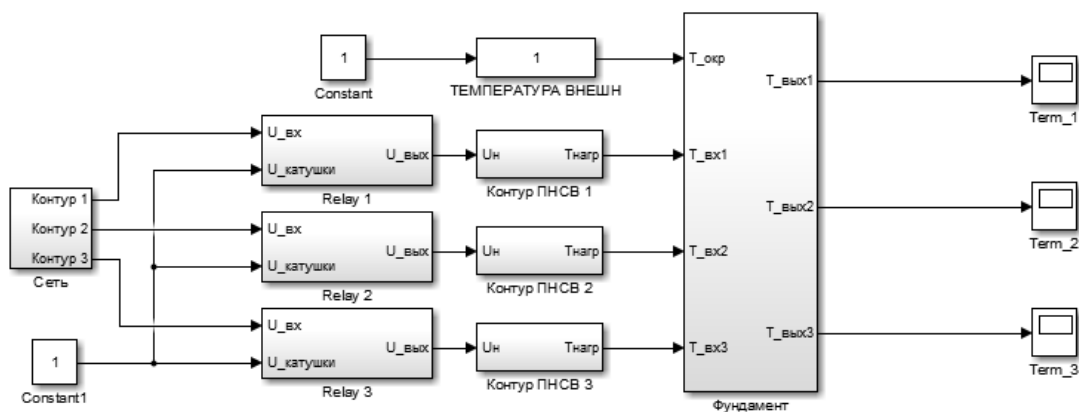


Рисунок 15 – Модель системы

Таким мы получаем модель объекта для проведения тестов управляющей системы и подбора коэффициентов регулятора.

1.9 Предложения по автоматизации

Объектом автоматизации является система обогрева бетона. В данной работе предполагается рассмотреть возможность взаимодействия разрабатываемой системы с использованием, для поддержания температурного режима бетона, греющего провода ПНСВ. При этом система контроля и регулирования температуры будут представлять из себя две различные подсистемы, разделенные физически.

Система контроля температуры должна представлять из себя единое устройство, обеспечивающие сбор данных с датчиков, объединённых на единой шине, что позволит значительно сократить расходы, благодаря уменьшению требований к количеству информационных входов управляющего устройства.

При этом желательно наличие возможности взаимодействия системы совместно со всеми используемыми методами обогрева.

2 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ

Для создания визуального представления принципа работы системы была разработана функциональная схема системы, представленная на рисунке 16.

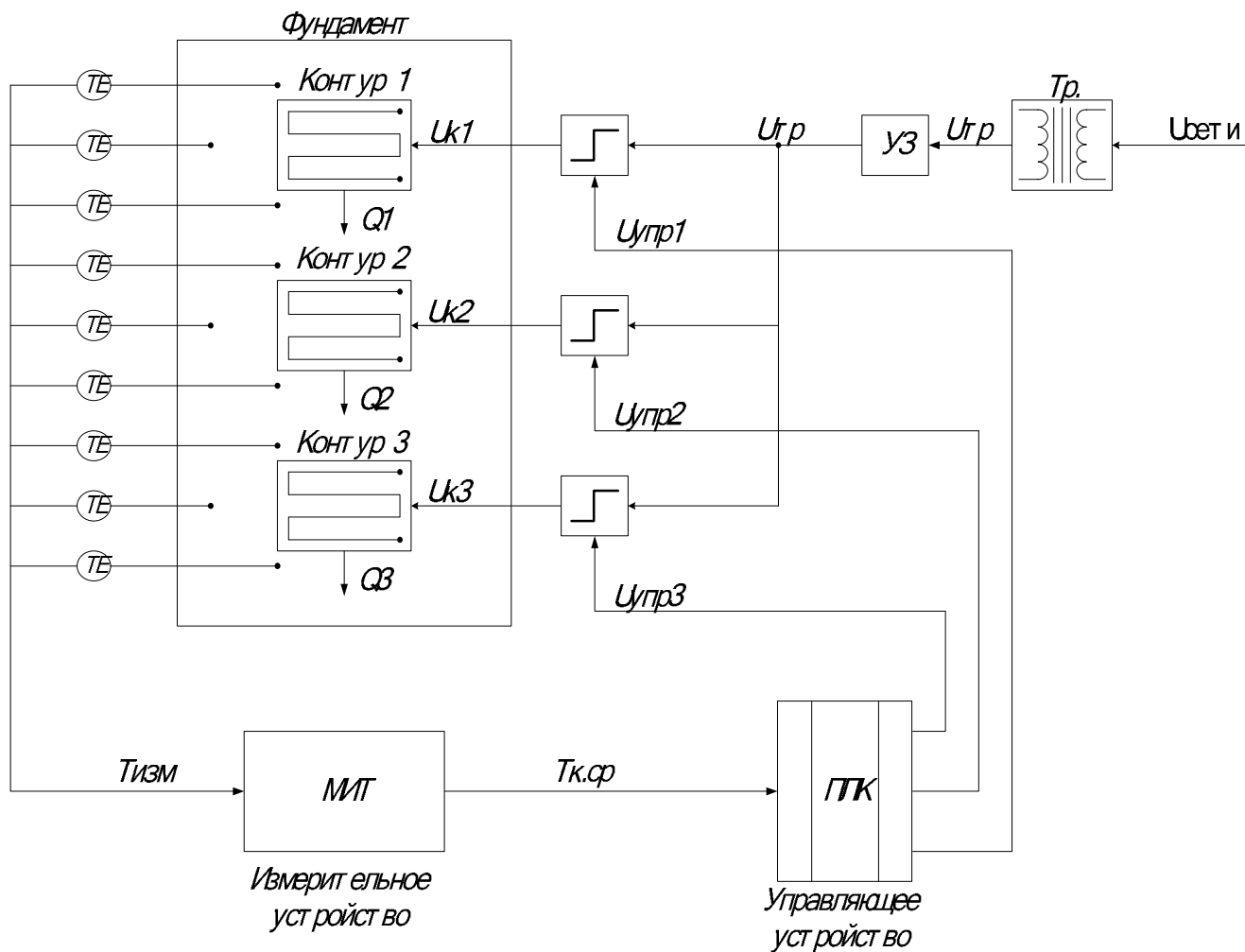


Рисунок 16 – Функциональная схема автоматизации

На данной схеме представлена система автоматизации системы обогрева фундамента проводом ПНСВ, подключенного через провода «холодных» концов – кабель АПВ.

Питающий трансформатор Tr - ТСДЗ – 80, подключений к трехфазной промышленной сети, преобразует $U_{сети}$ в $U_{тр}$ (напряжение на второй обмотке трансформатора), напряжение $U_{тр}$ поступает в систему, через защитные автоматические выключатели $УЗ$ (устройства защиты), задача которого отключить систему в случае замыкания накоротко или возникновения токов утечки, что

может свидетельствовать о попадании в цепь человека. Далее напряжение через контакторы поступает на, включенные в цепь параллельно, греющие контуры.

Контуры, представляющие из себя уложенные на арматуру высокоомные стальные кабели ПНСВ, полностью погруженные в бетон и подключенные к линии выхода трансформатора посредством «холодных концов» получают, при замыкании контактора соответствующего контура, напряжение U_k (напряжение контура) равное 45 В.

Так в результате замыкания контакторов происходит обогрев контура и повышение теплоты цементной смеси, температуру которого измеряют, помещенные в цемент измерители, информация с которых $T_{изм}$ (измеренная температура) поступает на измерительное устройство МИТ (многоточечный измеритель температуры), Осуществляющий первичную обработку полученных с датчиков данных, заключающуюся в нахождении средней температуры для каждого контура.

Управляющее устройство, получает среднее значение температуры каждого контура ($T_{к.ср}$), на основании чего, замыкает контактор соответствующего контура, если тот был выключен и температура недостаточна или размыкает его, во избежание перегрева цементной смеси, так система охватывается обратной связью.

3 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

3.1 Выбор измерительного устройства

3.1.1 Термоизмеритель «ТЕРЕМ-3.2»

Прибор контроля прогрева бетона «ТЕРЕМ-3.2» предназначен для:

- многоканального контроля и регистрации процессов изменения температуры монолитного бетона при изотермическом выдерживании и электропрогреве;
- температурного мониторинга объектов различного назначения.

Сфера применения «ТЕРЕМ-3.2»: монолитное бетонирование при строительстве жилых и промышленных объектов, другие области контроля, рисунок 17.

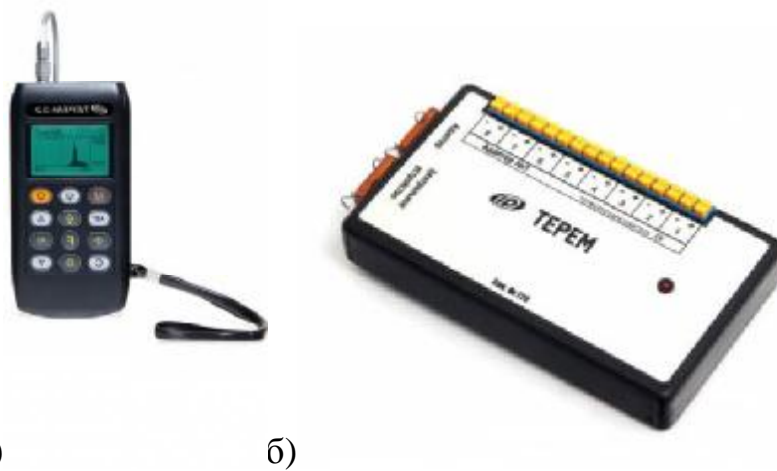


Рисунок 17 – Термоизмеритель «ТЕРЕМ-3.2»

а) устройство мониторинга б) модуль подключения термопар

Преимущества:

- Прибор имеет гибкую структуру. Он состоит из регистрирующего блока, одного или нескольких измерительных модулей и датчиков температуры, регистрирующий блок соединён с модулями единой 4-проводной линией связи. Количество и тип измерительных моду-

лей заказчик выбирает при заказе прибора (доступны модули с 8, 16 и 48 измерительными каналами);

- Возможность подключения к регистрирующему блоку нескольких измерительных модулей по единой линии связи упрощает установку прибора на объект с большим количеством зон контроля;
- В качестве датчиков температуры используется термопарный провод, который является недорогим расходным материалом. Для измерения температуры бетона измерительный конец провода просто погружают в бетон, а другой конец подключают к измерительному модулю;
- Аккумуляторное питание и микропотребление гарантируют длительное время автономной работы, а наличие встроенного зарядного устройства позволяет быстро восстановить работоспособность;
- Компактность прибора и малые габариты.

В качестве дополнительных опций доступны: регистрация температуры и влажности воздуха, радиоканальная связь с ПК.

Разъемы фирмы «ЛЕМО» в электронном блоке (регистраторе).

Основные функции:

- Регистрация и отображение процессов изменения температуры во времени на графическом дисплее с подсветкой и передача результатов на компьютер
- Задание режимов работы: времени цикла и запуска, периода регистрации и т.д.
- Сигнализации о выходе температуры за пределы допуска (опция)
- Связь регистратора с модулями по общей 4-проводной линии
- Режим непрерывной регистрации без ограничений времени
- Русский и английский язык меню и текстовых сообщений
- USB интерфейс для работы с компьютером и заряда аккумулятора

Характеристики измерителя «ТЕРЕМ-3.2» представлены на таблице 3.

Таблица 5 - Характеристики «ТЕРЕМ-3.2»

Количество каналов	8...256
Количество подключаемых модулей, шт.	1...32
Количество датчиков, подключаемых к модулю, шт.	8,16 или 48
Период отсчетов мин / макс	10 сек / 59 час
Пределы погрешности измерения температуры, °С	±1
Пределы погрешности измерения влажности, не более, %	±3
Длина линии связи с модулями, м:	
- датчиков	до 20
- регистратора	до 500
Объем памяти, Мбайт	1
Интерфейс	USB
Габаритные размеры регистратора, мм	150x76x27
Масса регистратора, кг	0,19

Базовая комплектация устройства:

- Блок электронный, чехол
- Зарядное устройство USB (1А)
- Кабель USB
- Программа связи с ПК на «Flash-визитке» / CD
- Руководство по эксплуатации
- Сумка
- Сертификат о калибровке (1 год)
- В комплектацию «регистратор + модуль-08» дополнительно входят:
 - § Измерительный модуль на 8 каналов измерения температуры
 - § Кабель связи модуля с регистратором, длина 3 м
 - § Кабель термопарный ПТВт ХК 2x0,2 - 200 метров
- В комплектацию «регистратор + модуль-16» дополнительно входят:
 - § Измерительный модуль на 16 каналов измерения температуры
 - § Кабель связи модуля с регистратором, длина 3 м
 - § Кабель термопарный ПТВт ХК 2x0,2 - 400 метров

Стоимость измерительной системы «ТЕРЕМ-3.2» в базовой комплектации составляет около 54000р.

3.1.2 Система «БЕРКУТ-ПБС1»

Система «БЕРКУТ-ПБС1» (Рисунок 18) предназначена для контроля температуры прогрева бетона при проведении бетонных работ на стадии заливки и созревания. Система позволяет оперативно получать достоверную информацию о температуре бетона при помощи датчиков и любого мультимедийного устройства, имеющего доступ в Internet (смартфон, планшет, ноутбук, ПК). При этом нет необходимости совершать ежечасный обход объекта, отпадает необходимость производить измерение температуры и ее регистрацию в журнал; передача и обработка информации происходят автоматически. Применение системы «БЕРКУТ-ПБС1» позволяет, по сравнению с используемой в настоящий момент технологией контроля прогрева бетона, получить экономический эффект от снижения затрат на контроль температуры, а также значительно повысить достоверность собираемой в процессе работы информации. Это даёт возможность практически исключить неконтролируемые внештатные ситуации, такие как промерзание или перегрев бетонной смеси, а также влияние т.н. «человеческого фактора».



Рисунок 18 – Устройство мониторинга «БЕРКУТ-ПБС1»

Система состоит из десяти терминалов, оборудованных датчиками температуры и имеющих интегрированные GSM модули.

Принцип работы:

1. Терминалы, питающиеся от батареек, устанавливаются в заранее подготовленные технологические лунки, заполненные индустриальным маслом. Лунки располагаются в соответствии с технологической картой строительной организации.
2. После заливки бетона терминалы периодически, по заданному алгоритму, передают информацию о измеренной с точностью до одного градуса температуре бетонной смеси на сервер системы «БЕРКУТ» в сети Интернет по каналу связи GSM.
3. На сервере полученная информация обрабатывается и «укладывается» в базу данных.
4. В случае отсутствия возможности подключиться к сети Интернет, терминалы накапливают информацию об измеренной температуре и передают её при первом же подключении к сети Интернет или по другим каналам связи стандарта GSM. Таким образом, обеспечивается полнота накапливаемой на сервере информации.
5. Пользователь на сайте системы «БЕРКУТ-ПБС1» видит обновлённые данные о температуре бетона на контролируемом объекте в режиме реального времени.
6. Один комплект рассчитан на обслуживание перекрытия площадью 500м².
7. По согласованию с заказчиком терминалы могут снабжаться датчиками с соединительным проводом разной длины. Для измерения температуры горизонтальных конструкций длина провода датчика равна 10 см, для вертикальных – 2м. Возможно изготовление и поставка датчиков с проводами других длин по заявке заказчика. По умолчанию в комплекте поставляются датчики для измерения температуры горизонтальных перекрытий.

Дальнейшая обработка информации производится на сайте berkut.nevoton.ru. Работа с сайтом возможна с любого устройства, имеющего доступ к Internet, например: смартфона, планшетного компьютера, ноутбука и, конечно же, ПК. Характеристики системы «БЕРКУТ-ПБС1» представлена в таб-

лице 6.

Таблица 6 - Характеристики «БЕРКУТ-ПБС1»

Напряжение питания беспроводных терминалов	2,5... 3,5В
Габаритные размеры беспроводного терминала, не более	11082180мм
Масса беспроводных терминалов, не более	0,35 кг
GSM радиотракт:	
- Диапазон частот GSM	900, 1800МГц
- Мощность излучения GSM	Class4(EGSM900), Class1(GSM1800)
- Протокол передачи данных	GPRS Class 8,10

Базовая комплектация:

- | | |
|---|-------|
| 1. Терминальный модуль «Беркут-ПБС1-Т2» | 5 шт. |
| 2. Футляр | 1 шт. |
| 3. Руководство по эксплуатации | 1 шт. |
| 4. Рекомендации по применению | 1 шт. |

Стоимость измерительной системы «БЕРКУТ-ПБС1» в базовой комплектации составляет около 200000 р.

3.2 Разработка измерительного устройства

Многоточечный измеритель температуры (МИТ) – это устройство, собирающее и обрабатывающее показания со множества датчиков температуры, находящихся на удалении друг от друга, предоставляя оператору данные о термодинамике процесса на определённой площади или объёме в виде единой картины.

3.2.1 Датчики

DS18B20 это цифровой измеритель температуры (рисунок 19), с разрешением преобразования 9-12 разрядов и функцией тревожного сигнала контроля за температурой. Параметры контроля могут быть заданы пользователем и сохранены в энергонезависимой памяти

датчика.

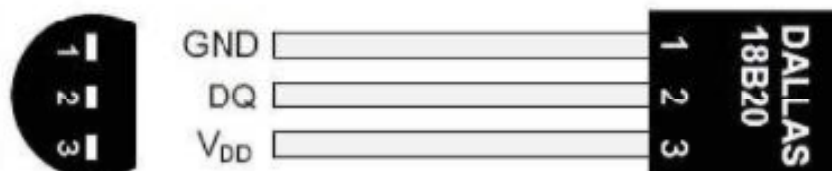


Рисунок 19 – цифровой измеритель температуры DS18B20

Диапазон измерения температуры составляет от -55 до +125 °С. Для диапазона от -10 до +85 °С погрешность не превышает 0,5 °С.

У каждой микросхемы DS18B20 есть уникальный серийный код длиной 64 бита, который позволяет нескольким датчикам подключаться к одной общей линии связи. Т.е. через один порт микроконтроллера можно обмениваться данными с несколькими датчиками -

распределенными на значительном расстоянии. Режим крайне удобен для использования в системах экологического контроля, мониторинга температуры в зданиях, узлах оборудования.

Таблица 7 - Характеристики термометра DS18B20

Параметр	Значение
Диапазон измерения	-55 до +125 °С

Погрешность, в диапазоне -10...+85°C	0,5 °C
Напряжение питания	3,0...5,5 В
Разрешение преобразования	9...12 б
Время измерения, макс	750мс

Описание датчиков:

- для однопроводного интерфейса 1-wire достаточно одного порта связи контроллером;
- каждое устройство имеет уникальный серийный код длиной 64 разряда;
- возможность подключения нескольких датчиков через одну линию связи;
- нет необходимости во внешних компонентах;
- возможность программирования параметров тревожного сигнала;
- тревожный сигнал передает данные об адресе датчика, у которого температура вышла за заданные пределы;
- совместимость программного обеспечения с DS1822;
- крайне широкие области применения.

На рисунке 8 блок-схема датчика DS18B20.64-

битное П-

ЗУ (ROM) хранит уникальный серийный код устройства. Оперативная память содержит: значение измеренной температуры (2 байта); верхний и нижний пороговые значения срабатывания тревожного сигнала (T_h , T_l); регистр конфигурации (1 байт).

Через регистр конфигурации можно установить разрешение преобразования температуры датчи-

ка. Разрешение может быть задано 9, 10, 11 или 12 бит. Регистр конфигурации и пороги тревожного сигнала содержатся в энергонезависимой памяти (EEPROM). Блок-схема устройства представлена на рисунке 20.

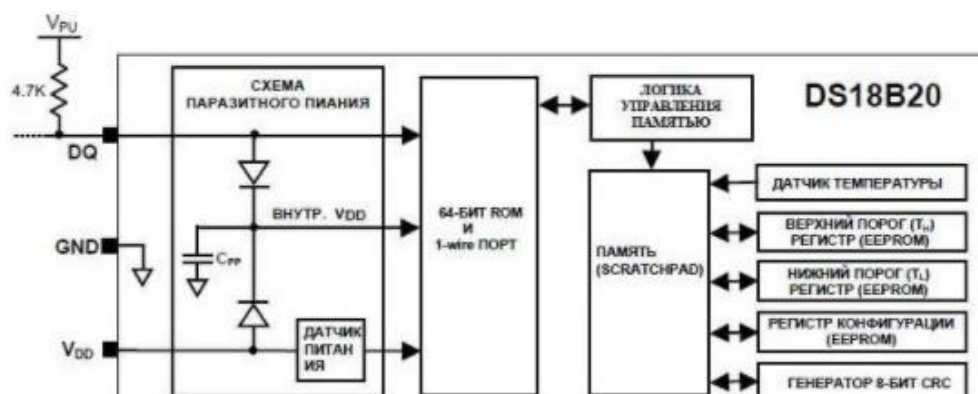


Рисунок 20 – Блоксхема DS18B20

Существует два варианта подключения датчиков к шине: в режиме паразитного питания, непосредственно от линии данных, без использования внешнего источника и с внешним источником питания. Схемы подключения из документации представлены на рисунке 21.

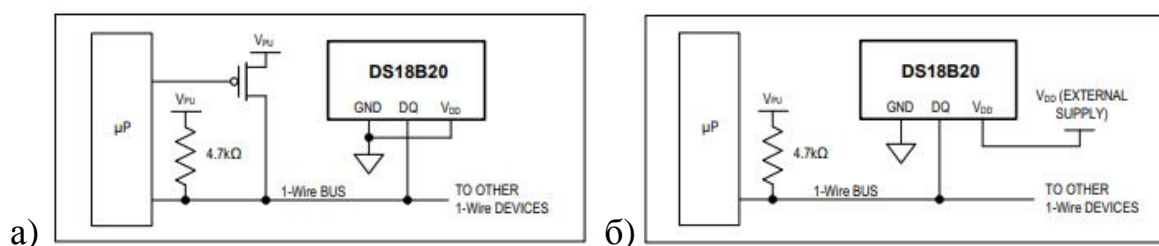


Рисунок 21 – Схемы подключения датчика:
а) паразитное питание; б) от внешнего источника

В режиме «паразитного питания», данному контроллеру не требуется подключение к источнику питания, так- как его работоспособность обеспечивается засечёт встроенной ёмкости, которая накапливает заряд, питаясь от линии данных, однако данный способ подключения не рекомендуется использовать на достаточно длинных линиях

Данные датчики закупается значительной партией ценой в 1102 за 100 штук.

3.2.2 Микроконтроллер

Для измерительного устройства будем использовать распространённые AVR контроллеры фирмы «Atmel», семейства mega, выбирая между ATmega168 и ATmega168p.

Данные контроллеры широко распространены, имеют программируемые входы/выходы (то есть, с каждым входом можно работать как с выходом и наоборот, инициализируя их программно прямо во время выполнения кода) и невысокую стоимость, что делает их идеальными кандидатами для данного проекта. Основные характеристики микроконтроллеров представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Характеристики ATmega168 и ATmega 328p

Параметр	ATmega 168	ATmega 328p
1	2	3
Напряжение питания, В	3...5	3...5
Тактовая частота(МГц)	20	32
FLASH -память программ, кБ	16	32

Продолжение таблицы 8

1	2	3
EEPROM память данных, Б	512	1024
РОН 8 бит	32	32
Линии Ввода/вывода	26	26
Порты Ввода/вывода	4	4
Таймеры	3	3

Конечный выбор конкретного контроллера будет производиться основываясь, в первую очередь на достаточном количестве программной памяти (FLASH память) и необходимом объеме энергонезависимой памяти (EEPROM), требования к которым напрямую зависят от необходимых параметров конечного устройства.

Для скорой реализации измерительного устройства в виде тестового образца, будем использовать отладочную плату ардуино, которая уже имеет всю необходимую для работы с контроллером обвязку и удобную среду разработки, позволяющую использовать простой код языка С, вместо команд ассемблера. Разводка микроконтроллера на плате ардуино представлена на рисунке 22.

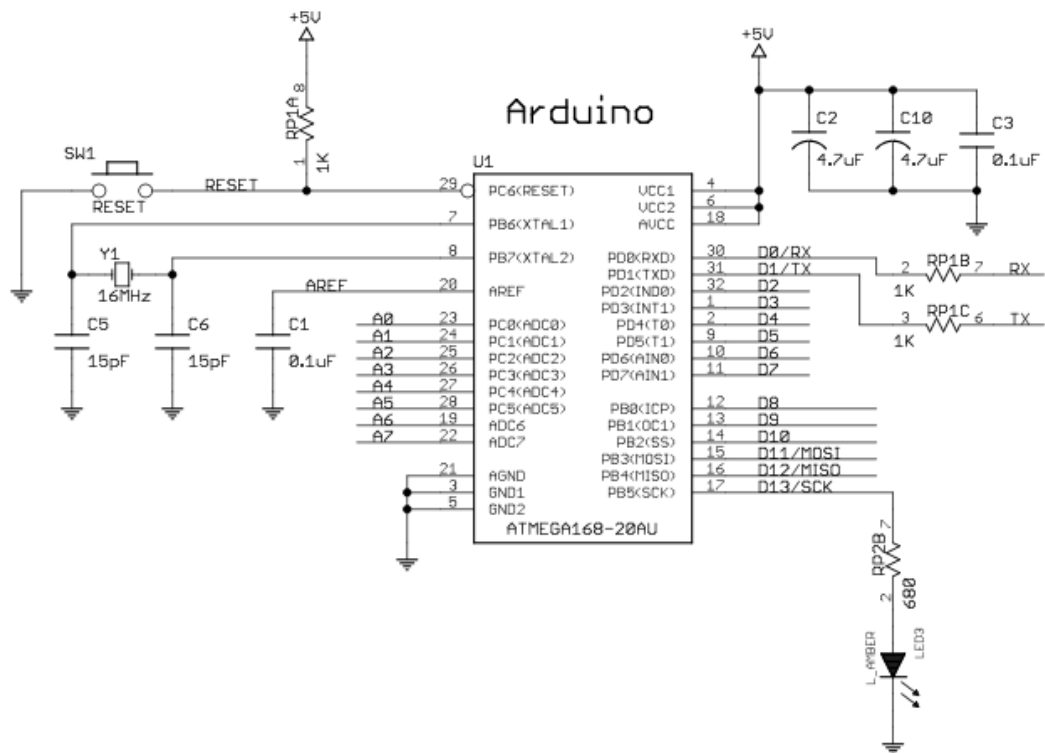


Рисунок 22 – распиновка МК, серии AVR -ATmega 168p, на плате ArduinoNANOv3

Поскольку от устройства нам требуется запоминание 64 битных идентификаторов датчиков, важнейшим требованием к контроллеру будет объем энергонезависимой памяти.

Выбираем микроконтроллер ATmega 328 ввиду наличия у него 1КБ памяти EEPROM, что позволит «запомнить» до 128 датчиков, без подключения дополнительной памяти. На данный момент стоимость данных контроллеров составляет в районе 180 руб.

3.2.3 Органыуправления

Берем компактную и дешёвую кнопку без фиксации, рисунок 20.



Рисунок 20 – Кнопка тактовая DIP, без фиксатора

При впаивании в плату следует помнить, что у данной кнопки замыкают-

ся два ближайших контакта, расположенных на одной стороне. Характеристики кнопки представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры кнопки

Параметр	Значение
Габариты	6х6х5 мм
Сопротивление изолятора	100 МОм
Сопротивление контактов	0,1 Ом
Рабочее напряжение	12 В
Предельное напряжение	250 В переменного тока в течение 1 мин
Рабочий ток	50 мА

3.2.4 Устранение дребезга контактов

В момент нажатия на кнопку, вместо единичного срабатывания, так-как сама кнопка является механическим компонентом, между её контактами проскакивает ток и механические контакты дребезжат, что приводит к множественной реакции контроллера на каждый появившийся сигнал. Это явление, называемое дребезгом контактов, приводит к некорректной работе электронного устройства. Помимо того, поскольку любой электронный компонент является реальным физическим объектом, на который воздействуют множество случайных факторов, в линиях электросети и на выходах компонентов неизбежно появляются помехи. Одним из источников таких помех является дребезг контактов, что может повлиять и на остальные устройства, связанные с ним.

Для устранения дребезга контактов используют два типовых решения: включение в цепь кнопки конденсатора, который сглаживает сигнал и посредством введения в программный код контрольных задержек. В данной работе использовался как аппаратный метод обработки дребезга, так и программный.

Включение в цепь конденсатора, безусловно, позволяет сгладить сигнал с кнопки, однако остаются микроколебания, которые по-прежнему могут привести к множественному срабатыванию, что повлечёт за собой некорректную ра-

боту устройства. Данную проблему можно решить посредством введения в систему элемента с гистерезисом. Ввести в цепь гистерезис можно посредством включения в цепь триггера Шмидта. Инвертирующий триггер Шмидта в корпусе DIP14 представлен на рисунке 23.



Рисунок 23 – Микросхема SN74HC14

SN74HC14N является микросхемой триггера Шмитта, содержит 6 независимых инверторов. Производит булеву операцию $Y = \overline{A}$ положительной логики. Характеристики данной микросхемы приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Характеристики микросхемы

Параметр	Значение
Количество триггеров в корпусе	6
Энергопотребление, макс.	20мкА
Временя задержки распространения	1нс
Выход	± 4 мА при 5В
Низкий входной ток, макс.	1мкА

Включая данное устройство по схеме, приведенной на рисунке 24а, получаем обработку сигнала кнопки, изображенную на рисунке 24б.

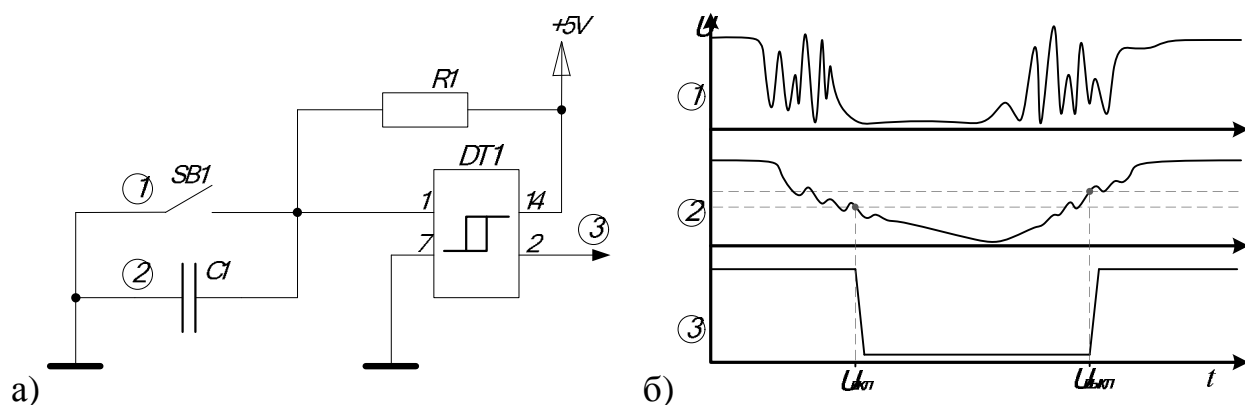


Рисунок 24 – Обработка дребезга контактов
 а) принципиальная схема; б) обработка сигнала

Допустим, произошло единичное замыкание ключа SB1, при этом наблюдается дребезг контактов (1). Благодаря включённой в схему ёмкости C1 равной 0.22мкФ происходит сглаживание сигнала, однако остаются незначительные колебания, которые по-прежнему могут негативно сказаться на работе устройства (2). Триггер Шмидта, благодаря гистерезису не реагирует на мелкие колебания, так как в момент после перехода в активное состояние, по падению напряжения на линии, ему нужно немного большее напряжение для повторной смены состояния, благодаря разнице между его $U_{вкл.}$ и $U_{выкл.}$

Таким образом, благодаря использованию микросхемы SH74НС14, удается достичь, «чистого» сигнала с кнопки. В этом случае программная задержка имеет смысл уже с точки зрения защиты от случайного нажатия. Стоимость данной микросхемы, находится в районе 9 руб. за штуку.

3.2.5 Индикаторы

Для индикации непосредственно на устройстве используются 4 разрядные 7-сегментные индикаторы с общим катодом, рисунок 25.



Рисунок 25 - 7-сегментные индикатор с общим катодом

Данный семисегментный индикатор представляет из себя набор светодиодов, катод которых соединён в одну линию. Широко распространён, часто встречается с уже встроенным драйвером ТМ1637, что позволяет взаимодействовать с ним с помощью всего двух ножек контроллера описанным в следующем пункте.

3.2.6 Драйвера индикаторов

Для упрощения работы с индикаторами и экономии выводов контроллера будем использовать драйвер семисегментного индикатора ТМ1637, рисунок 26.



Рисунок 26 – Драйвер ТМ1637

Данный драйвер позволяет выводить значения на семисегментный индикатор с общим катодом используя всего два аналоговых выхода. Схема подключения драйвера в устройстве представлена на принципиальной схеме устройства.

Для работы с данной микросхемой на вывод «CLK» подается тактирующий сигнал, а на вывод «DIO» отправляемый бит. Существуют варианты испол-

нения данного индикатора как в DIP корпусе, так и в виде SOIC компонента. Стоимость данной микросхемы варьируется от 10 до 25 руб. Однако данный компонент часто встречается в сборке с индикатором, в этом случае цена данного изделия находится в диапазоне от 45 до 150 руб.

3.2.7 Конвертер сети MAX485

Для связи измерительного устройства с системой автоматического управления температурой будем использовать сеть RS-485. Поскольку данной сети нет среди доступных на контроллере ATmega328p, будем использовать конвертер с сети UART, с использованием дополнительного управляющего пина микроконтроллера RS-485. Драйвер сети RS-485 представлен на рисунке 27.

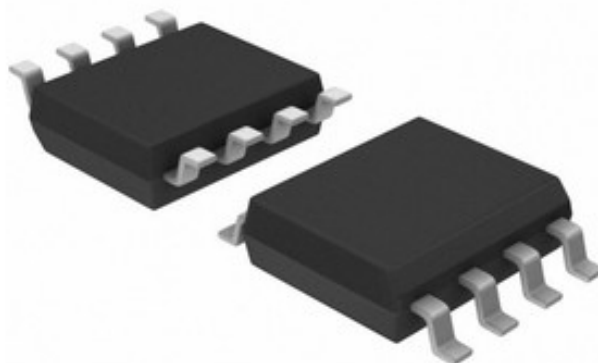


Рисунок 27 – Микросхема MAX485

Назначение ножек данной микросхемы, его характеристика подробно описаны в даташите. На рисунке 28 продемонстрирована схема подключения сети с помощью данного драйвера.

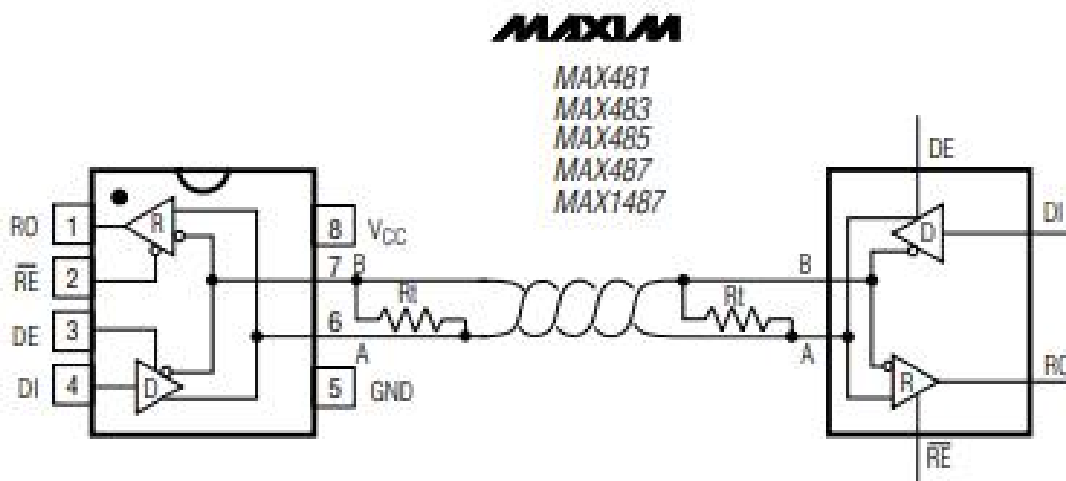


Рисунок 28 – схема включения MAX485

Средняя стоимость драйвера составляет 94 руб., в виде «голой» микро-

схемы или 150 руб. в виде готового конвертора «TTLRS-485» со всей необходимой обвязкой.

3.2.8 Выбор сопротивлений

Для выбора сопротивлений воспользуемся рекомендациями из технической документации на каждый элемент сети и типовое решение, включая подключение кнопок с исключением дребезга.

Таблица 10 – Резисторы устройства

Резистор	Назначение	Номинал
	Подтягивающий резистор кнопок	22 КОм
	Подтягивающий резистор шины «OneWire»	4,7 КОм
	Резистор на питание микроконтроллера ATmega328p	10 КОм
	Резисторы входов драйвера MAX485	10 КОм
	Резистор на питание драйвера MAX485	20 КОм
	Подтягивающий резистор на линии RS485	120 Ом

4 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

4.1 Выбор ПЛК

Для управляющей системы возьмем отечественный контроллер фирмы ОВЕН. Данный выбор обусловлен дешевизной контроллера (Всего около 15тыс.р.), наличием у него гальванической развязки на выходах, что позволяет упростить систему и, как следствие, удешевить, благодаря использованию меньшего количества коммутационной аппаратуры. Для нашей системы будем использовать контроллер ОВЕН ПЛК-100.220Р, рисунок 29.



Рисунок 29 – ОВЕН ПЛК-100

Таблица 12 – Характеристики микросхемы

Параметр	Значение
1	2
ЦП	32-х ядерный RISC-процессор

1	2
Оперативная память	8 МБ
EEPROM память данных	4 МБ
Время выполнения цикла ПЛК, мин.	250 мкс.
Количество дискретных входов	8
Гальваническая развязка дискретных входов	есть, групповая
Эл. прочность изоляции входов	1,5 кВ
Частота дискретного входа, макс.	1 кГц
Количество дискретных выходов	6
Гальваническая развязка дискретных выходов	Есть, индивидуальная

Для программирования данного контроллера используется среда CoDeSys 2.3.8.1 (и старше). Прошивка загружается через RS-232, USB или Ethernet порт контроллера. Для связи с остальными элементами системы у данного контроллера имеются следующие интерфейсы:

- Ethernet – Modbus-TCP, Gateway;
- RS-232 – Modbus-RTU, Modbus-ASCII, DCON, ОБЕН;
- RS-485 – Modbus-RTU, Modbus-ASCII, DCON, ОБЕН.

В рамках данной системы предполагается использование протокола Modbus-RTU, с использованием шины RS-485, для связи МИТ с системой управления.

4.2 Выбор коммутационной аппаратуры

Выберем магнитный коммутатор для связи управляющей цепи с силовой.

Для надежности системы возьмём коммутирующее устройство с запасом по току и напряжению.

Магнитный пускатель ПМ 12 (рисунок 30), рассчитанный на коммутацию напряжения до 380В, при частоте 50Гц и максимальный ток коммутации 160А.



Рисунок 30 – ПМ12

Стоимость данного магнитного пускателя составляет около 8 400 руб.

4.3 Модули расширения

Для подключения в систему дополнительных греющих контуров понадобятся модули дискретного вывода. Для этих целей нам подойдут модули фирмы ОВЕН (рисунок 31), которые будут отлично работать с нашим контроллером.



Рисунок 31 – МУ110-16Р

Будучи связанным с ОВЕН ПЛК по сети RS-485, позволяет подключать дополнительное коммутационное оборудование, что позволит увеличить коли-

чество управляемых контуров, без дублирования всей системы. Характеристики данного модуля дискретного вывода представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Характеристики МУ110

Параметр	Значение
Напряжение питания	20...375В (24В ном.)
Количество дискретных выходов	16
Потребляемая мощность, макс.	12ВА
Сеть связи	RS-485
Интерфейсы	Modbus-RTU, Modbus-ASCII, DCON, OVEN

Стоимость данного модуля составляет около 8тыс. руб.

5 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

5.1 Принципиальная электрическая схема измерителя

Для реализации централизованного сбора информации с сети датчиков, измеряющих температуру на различных участках объекта управления, подключенных к микроконтроллерной плате ArduinoNANOv3, с микроконтроллером ATmega328p посредством протокола «OneWire», по одноименной шине.

Схема измерительного устройства представлена на рисунке 32.

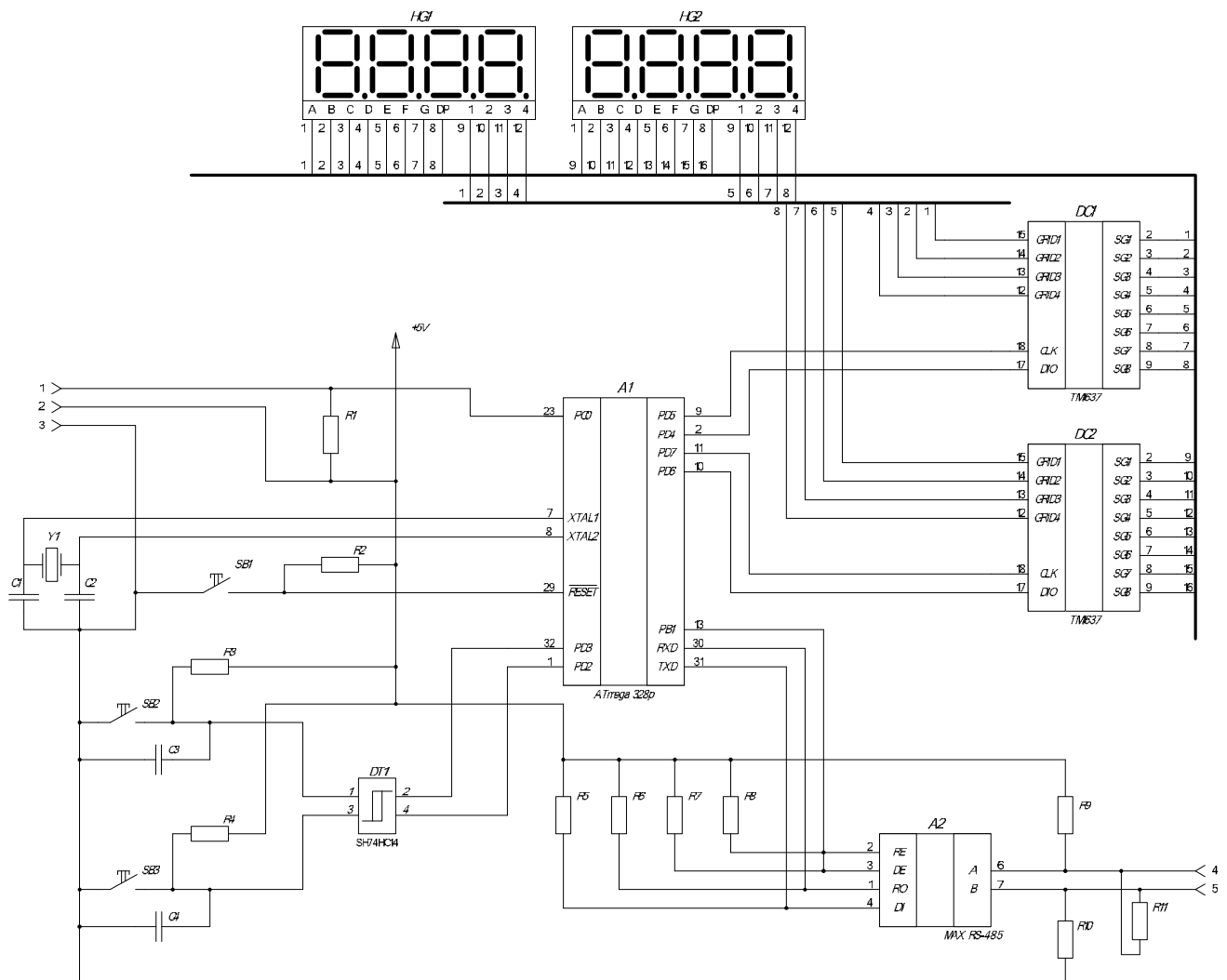


Рисунок32 – Принципиальная электрическая схема измерительного устройства.

A1 – Микроконтроллер ATmega 328p;
A2 – микросхема MAXRS-485;
C1, C2 – конденсаторы ;
C3 – конденсатор ;
C4, C5 – конденсаторы ;
DT1– триггер ШмидтаSH74HC1;
DC1,DC2– драйверТМ1637;
HG1,HG2 – 7-сегментные индикаторы;
R2иR3 – подтягивающие резисторы кнопок = 22 КОм;
R1 – подтягивающий резистор шины = 4.7 КОм;
SB0 – кнопка сброса контроллера;
SB1 иSB2 – кнопки взаимодействия с устройством;
Y1 – кварцевый резонатор;

Взаимодействие пользователя непосредственно с устройством происходит посредством двух кнопок для, ввода информации, и двух четырехзначных семисегментных индикаторов на плате с драйвером ввода/вывода ТМ1637 для вывода информации (Количество датчиков/Температура/Номера датчиков), так же должна быть предусмотрена кнопка сброса контроллера.

5.2 ПЭС системы

В разрабатываемой системе, многоточечный измеритель реализует функцию сбора информации с датчиков и отправки ее в управляющую систему посредством сетиRS485интерфейсу MatBus.

Использование стандартных средств и протоколов обмена данными позволяют обеспечить взаимодействие многоточечного измерителя температуры с большинством существующих средств автоматизации.Схема управляющей системы представлена на рисунке 33, схема силовой цепи изображена на рисунке 34.

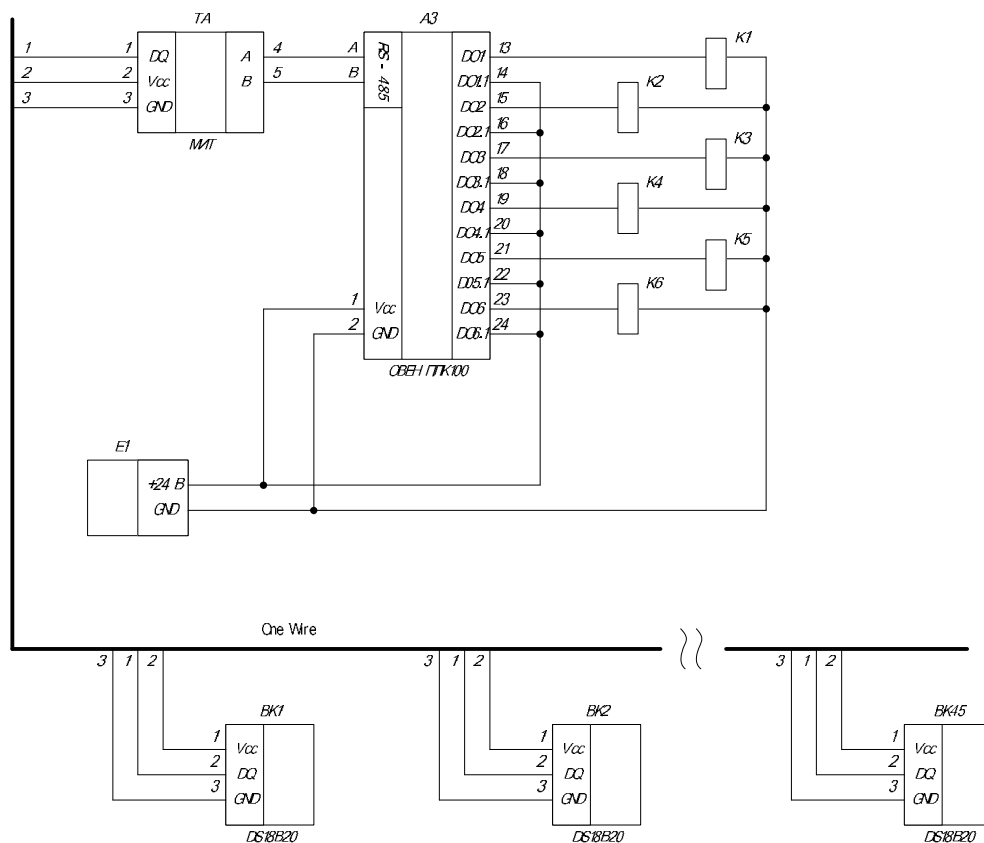


Рисунок33 – Принципиальная электрическая схема управляющей цепи.

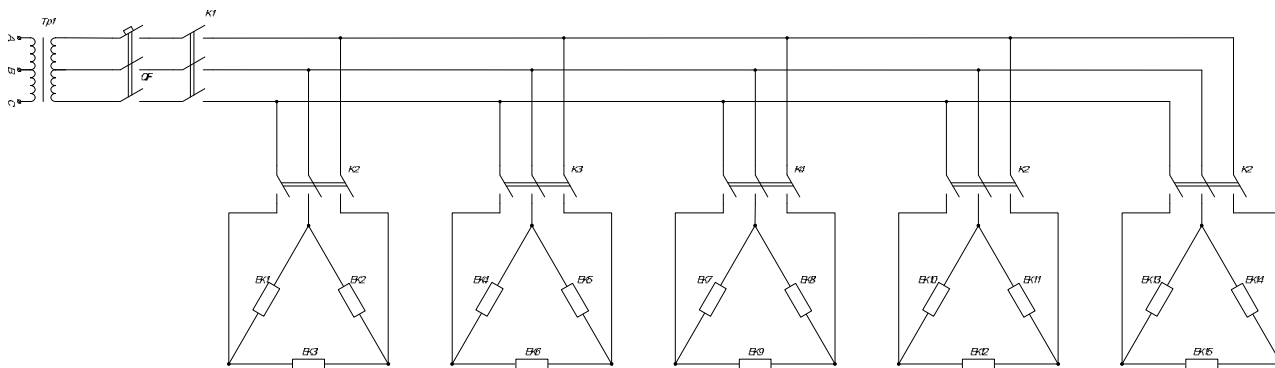


Рисунок34 – Принципиальная электрическая схема силовой цепи.

Силовая часть системы представляет из себя греющий провод ПНСВ находящийся непосредственно в объекте автоматизации (бетоне фундамента), подключенный к источнику трехфазного тока, которым является трансформатор СПБ-80.

Управление системой осуществляется с помощью контактного реле находящегося в цепи между греющим проводом и трансформатором СПБ-80.

6 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ

Программа измерительного устройства разработана в среде «*ArduinoIDE*».

6.1 Библиотеки

Процесс обмена информацией с измерителями по шине осуществляется посредством библиотеки «*OneWire.h*».

Управление драйвером ТМ1637 осуществляется с помощью библиотеки «*TM1637.h*».

Для использования прерываний по таймеру воспользуемся библиотекой «*MsTimer2.h*», которая задействует второй из трех таймеров контроллера, в то время как первый используется МК для расчёта времени работы устройства, которое можно получить с помощью стандартных для *ArduinoIDE* функций *millis()* и *micros()*, которые возвращают значение таймера с момента запуска МК в миллисекундах и микросекундах соответственно.

Для взаимодействия с энергонезависимой памятью МК, используется библиотека «*EEPROM.h*».

Для включения сторожевого таймера подключим библиотеку «*avr/wdt.h*».

6.1.1 Описание библиотеки *OneWire.h*

Создаем объект библиотеки:

OneWire T(14);

где ***OneWire*** – директива объявления объекта,

T(14) – имя объекта шины, подключенной к 14 пину (Пин A0).

Для работы с шиной библиотека предоставляет следующие методы взаимодействия с объектом класса «***OneWire***»:

– `uint8_t reset(void);` - Выполните 1-проводной цикл сброса. Возвращает 1, если устройство отвечает с импульсом присутствия. Возвращает 0, если нет устройства или шина закорочена или иным образом удерживается на низком уровне более 250uS;

- ***voidselect(constuint8_trom[8])***; – выбор одного датчика на шине, где ***rom[8]*** – идентификатор датчика;
- ***voidskip(void)*** – пропуск ROM, обратиться ко всем на шине;
- ***voidwrite(uint8_tv, uint8_tpower = 0)*** – отправить байт «v» на шину, если ***power = 1***, Шина будет удерживаться в высоком уровне по окончании отправки;
- ***uint8_t read(void)*** – считывает байт с шины и возвращает его значение;
- ***voidwrite_bit(uint8_tv)*** – отправляет бит «v» на шину;
- ***uint8_t read_bit(void)*** – считывает и возвращает бит с шины;
- ***voiddepower(void)*** – прекратить подавать питание на шину;
- ***voidreset_search()*** – отчистить состояние поиска;
- ***voidtarget_search(uint8_tfamily_code)*** – определяет кода устройства, уникальный для разных типов устройств, поддерживающих интерфейс шины.
- ***uint8_t search(uint8_t *newAddr)*** – произвести поиск адресов устройств, возвращает новый адрес получен, если 0, то либо обрыв шины, либо устройства закончились.

Для проверки данных с шины можно использовать CRC таблицу библиотеки.

6.1.2 Описание библиотеки TM1637.h

Для работы с данной библиотекой прежде всего необходимо создать объект библиотеки. Создание объекта данной библиотеки выглядит следующим образом:

TM1637 X(clk, dio), где X – имя объекта, а clk и dio – номера соответствующих ножек микроконтроллерной платы, подключенных к соответствующим пинам драйвера.

Для работы с объектом библиотеки используются следующие методы:

- ***voiddisplay(uint8_t DispData[])***; // выводит цифры массивом по ячейкам. От 0 до 9 (***bytevalues[] = {3, 5, 9, 0}***;)

- voiddisplay(uint8_t BitAddr, int8_t DispData); // выводит цифру DispData в указанную ячейку дисплея BitAddr
 - voiddisplay(uint8_t bit0, uint8_t bit1, uint8_t bit2, uint8_t bit3); // если лень создавать массив, выводит цифры в ячейки
 - voiddisplayByte(uint8_t DispData[]); // выводит байт вида 0хеб и буквы-константы вида _a , _b массивом
 - voiddisplayByte(uint8_t BitAddr, int8_t DispData); // выводит байт вида 0хеб и буквы-константы вида _a , _b в ячейку
 - voiddisplayByte(uint8_t bit0, uint8_t bit1, uint8_t bit2, uint8_t bit3); // если лень создавать массив, выводит байты в ячейки
 - voiddisplayClock(uint8_t hrs, uint8_t mins); // выводит часы и минуты
 - voiddisplayClockScroll(uint8_t hrs, uint8_t mins, intdelayms); // выводит часы и минуты с эффектом прокрутки
 - voiddisplayClockTwist(uint8_t hrs, uint8_t mins, intdelayms); // выводит часы и минуты с эффектом скрутки
 - voiddisplayInt(intvalue); // выводит число от -999 до 9999 (да, со знаком минус)
 - void runningString(int8_t DispData[], byte amount, intdelayMs); // бегущая строка (array, sizeof(array), задержкавмс)
 - voidclear(void); // очистить дисплей
 - void point(booleanPointFlag); // вкл / выключку (POINT_ON / POINT_OFF)
 - void brightness(uint8_t bright, uint8_t = 0x40, uint8_t = 0xc0); // яркость 0
- 7
- void scroll(uint8_t BitAddr, int8_t DispData, intdelayms); // обновить значение прокруткой (адрес, ЦИФРА, задержкавмс)
 - void scroll(int8_t DispData[], intdelayms); // обновить значение прокруткой (массив ЦИФР, задержкавмс)
 - void scrollByte(uint8_t BitAddr, int8_t DispData, intdelayms); // обно-

вить значение прокруткой (адрес, БАЙТ, задержка в мс)

– void scrollByte(int8_t DispData[], int delaysms); // обновить значение прокруткой (массив БАЙТ, задержка в мс)

– void twist(uint8_t BitAddr, int8_t DispData, int delaysms); // обновить значение скручиванием (адрес, ЦИФРА, задержка в мс)

– void twist(int8_t DispData[], int delaysms); // обновить значение скручиванием (массив ЦИФР, задержка в мс)

– void twistByte(uint8_t BitAddr, int8_t DispData, int delaysms); // обновить значение скручиванием (адрес, БАЙТ, задержка в мс)

– void twistByte(int8_t DispData[], int delaysms); // обновить значение скручиванием (массив БАЙТ, задержка в мс)

6.2 Алгоритм программы сбора температуры с измерителей на шине

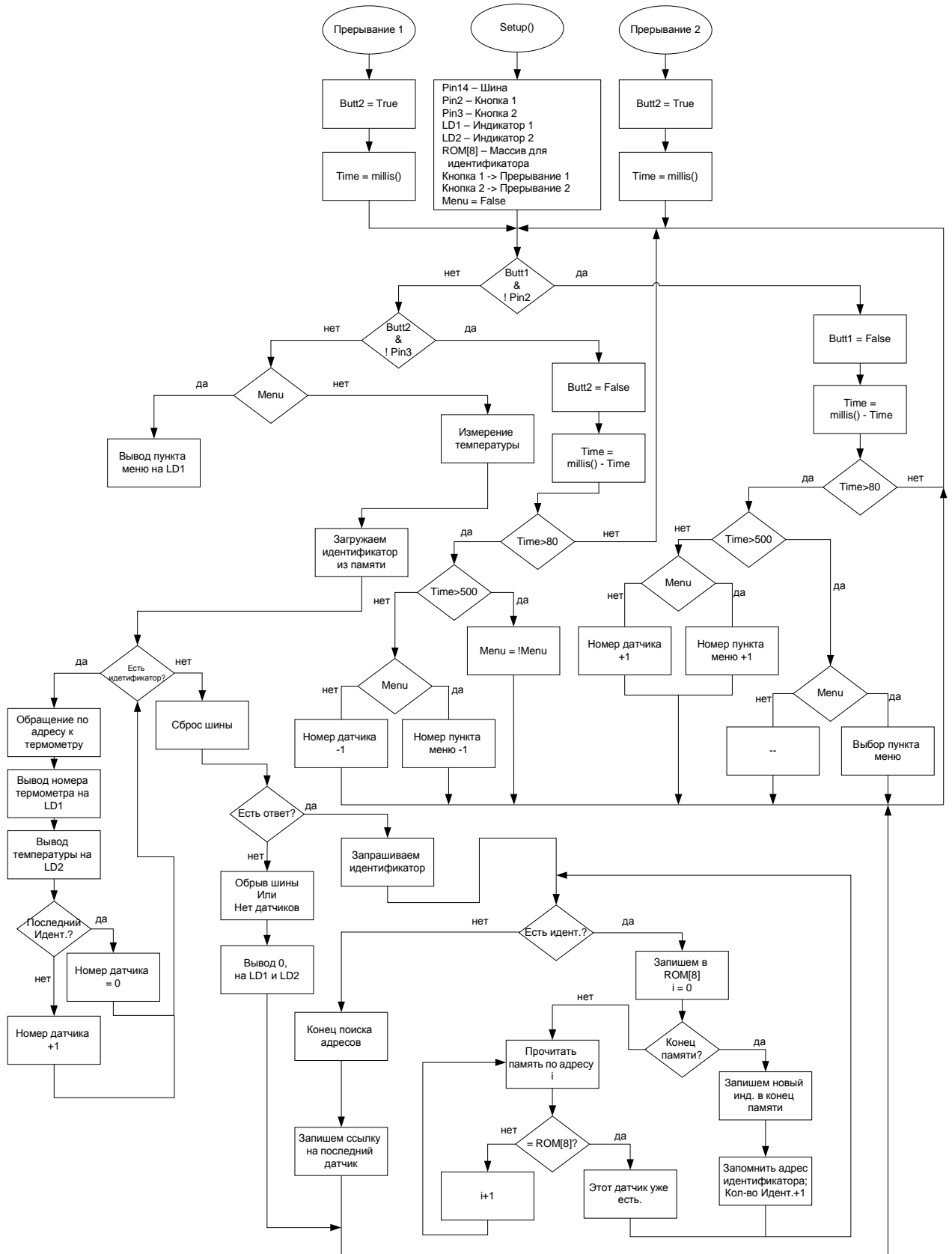


Рисунок 35 – Алгоритм программы

Несмотря на то, что сейчас цикл программы занимает менее секунды, в

будущем, добавлением новых функций и введения в нее алгоритма управления объектом, задержки могут значительно увеличиться ввиду «разрастания» самого программного кода. Поэтому кнопки уже подключены по прерыванию, показанными на схеме как «Прерывание1» и «Прерывание2» соответственно.

Так же алгоритм программы предусматривает программную обработку дребезга контактов (удержание кнопки менее чем на 80 миллисекунд) и разные способы взаимодействия со средствами ввода, где Нажатие (удержание более чем на 80 миллисекунд, но не более 500 миллисекунд) кнопок вверх и вниз, листают массивы датчиков или обрабатываемый пункты меню, в зависимости от режима работы, а зажатие кнопок (удержание более чем на 500 миллисекунд).

Хранить адреса датчиков предполагается в EEPROM микроконтроллера.

6.2.1 Разработка приложения

6.2.2 Реализация RS 485 и протокола ModBus в среде Arduino.

Для связи устройства с системой, а именно с ПЛК ОВЕН, реализуем стандартный протокол обмена, благодаря которому измерительное устройство будет определяться ПЛК как модуль ввода.

6.3 Разработка управляющей программы системы

Программа управляющей системы разработана в среде «CoDeSys».

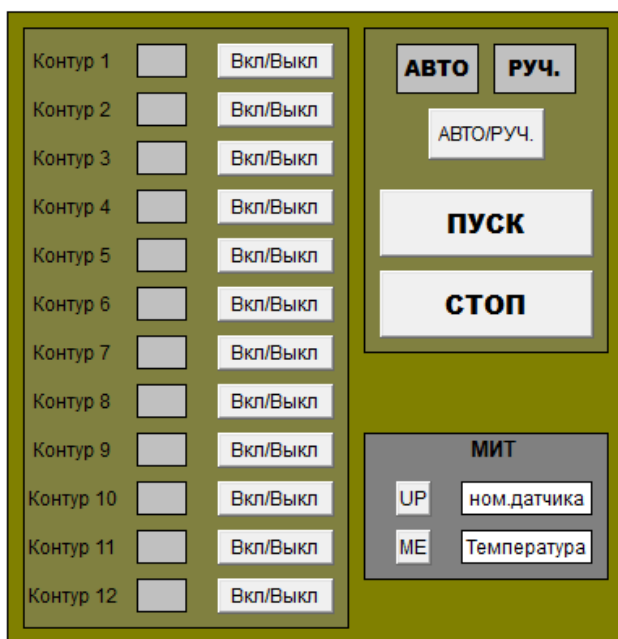


Рисунок 36 – визуализация «щит управления»

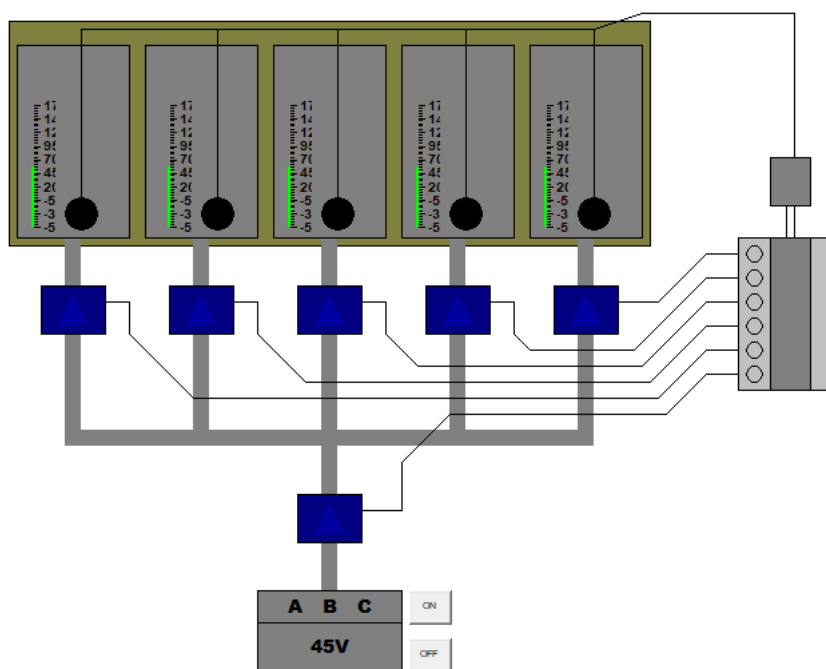


Рисунок 37 – визуализация «техпроцесс»

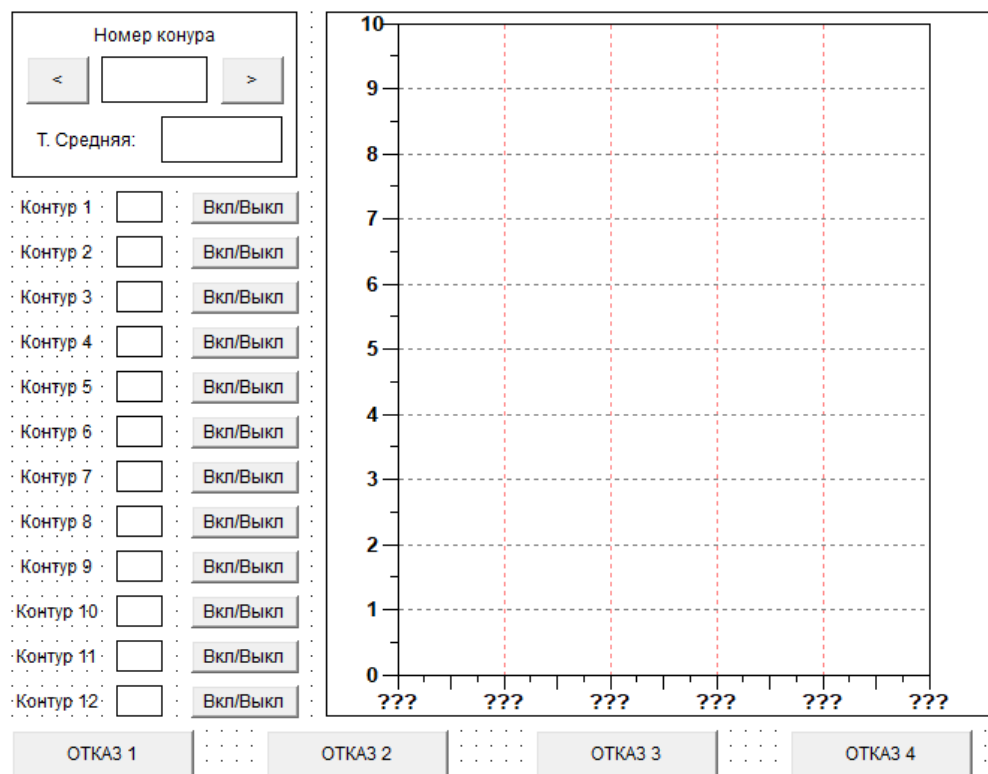


Рисунок 38 – визуализация «Панель взаимодействия с системой»

7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

7.1 Опасности поражения человека электрическим током

Электрический ток может явиться причиной тяжелых несчастных случаев, большая часть которых происходит из-за пренебрежения к опасности, которую представляет собой электрический ток.

Нередко можно наблюдать, как радиолюбитель проверяет пальцами наличие напряжения на зажимах той или иной электрической установки; недопустимую небрежность допускают радиолюбители и при испытании и эксплуатации своей аппаратуры (приемников, передатчиков, телевизоров). К этому надо добавить, что радиолюбительские конструкции часто выполняются без соблюдения элементарных правил техники безопасности. Среди радиолюбителей укоренилось мнение, что опасными напряжениями являются лишь напряжения 500 в и выше, а напряжения — 110, 220 в — якобы не могут причинить человеку вреда. Правильно ли такое деление напряжений на опасные и неопасные? Безусловно, неправильно. Совершенно неправильными и недопустимыми следует считать также разговоры о безопасности удара электрическим током от различных «маломощных» источников, как, например, маломощного силового трансформатора, заряженного конденсатора и др. Подобные высказывания можно иногда слышать не только от начинающих, но и от опытных радиолюбителей.

7.1.1 Основные факторы, влияющие на степень поражения

Установлено, что электрический ток силой 100 ма и более, безусловно, смертелен для человека. Ток такой силы вызывает паралич дыхательного центра, поражает непосредственно сердце, которое перестает работать, или же вызывает сильное изменение состава крови. Токи силой 50—100 ма также опасны для жизни человека, так как почти всегда вызывают потерю сознания у пострадавшего, даже при кратковременном касании к находящимся под напряжением деталям. Токи силой меньше 50 ма могут считаться неопасными, хотя они и вызывают неприятные ощущения при прохождении через тело человека. Однако

даже и такие слабые токи могут представлять некоторую угрозу, так как уже при 15—20 ма мышцы теряют способность произвольно сокращаться и человек бывает не в состоянии длительное время выпустить из рук инструмента или провода, по которому проходит ток. Таким образом, наивысший предел тока, который еще может считаться безопасным для человека, колеблется между 15—50 ма.

Необходимо заметить, что приведенные цифры ни в коем случае нельзя считать твердо установленными, так как действие электрического тока на организм человека в значительной степени зависит также и от состояния здоровья, усталости, нервного состояния и пр.

При каких же обстоятельствах через тело человека может пройти опасный для его жизни ток? Как известно, сила тока в цепи зависит от приложенного напряжения и от сопротивления этой цепи. Сопротивление тела человека зависит от ряда причин и прежде всего от состояния кожи в точках прикосновения к полюсам источника тока, так как сопротивление других тканей человеческого тела очень мало по сравнению с сопротивлением поверхностного слоя кожи. Величина сопротивления тела колеблется в широких пределах: от сотен омов до сотен тысяч омов. Тело с грубой и сухой кожей имеет сопротивление порядка 100 000—200 000 ом; сопротивление тела, имеющего более тонкую и влажную кожу, равно 30 000—50 000 ом. Резкое уменьшение сопротивления тела происходит в том случае, когда увеличивается площадь его соприкосновения с токонесущими предметами, например, при работе с плоскогубцами или металлической отверткой, при касании к металлическим шасси или корпусам приборов или же когда человек стоит на сырой земле, а также на хорошо проводящем полу (влажный бетон, сырые доски). Во всех этих случаях сопротивление тела может упасть до 10 000 — 20 000 ом, а если при этом оно еще покрыто влагой, то и до еще меньшей величины — 1 000 — 2 000 ом и меньше.

7.1.2 Последствия

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает тепловое, химическое и биологическое воздействия. Тепловое действие проявляется в ви-

де ожогов участков кожи тела, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон. Химическое действие ведет к электролизу крови и других содержащихся в организме растворов, что приводит к изменению их физико-химических составов, а значит, и к нарушению нормального функционирования организма. Биологическое действие электрического тока проявляется в опасном возбуждении живых клеток и тканей организма. В результате такого возбуждения они могут погибнуть.

Различают два основных вида поражения человека электрическим током: электрический удар и электрические травмы. Электрическим ударом называется такое действие тока на организм человека, в результате которого

мышцы тела начинают судорожно сокращаться. При этом в зависимости от величины тока и времени его действия человек может находиться в сознании или без сознания, но при нормальной работе сердца и дыхания. В более тяжелых случаях потеря сознания сопровождается нарушением работы сердечно-сосудистой системы, что ведет даже к смертельному исходу. В результате электрического удара возможен паралич важнейших органов (сердца, мозга и пр.).

Электрической травмой называют такое действие тока на организм, при котором повреждаются ткани организма: кожа, мышцы, кости, связки. Особую опасность представляют электрические травмы в виде ожогов. Такой ожог появляется в месте контакта тела человека с токоведущей частью электроустановки или электрической дугой. Бывают также такие травмы, как металлизация кожи, различные механические повреждения, возникающие в результате резких произвольных движений человека. В результате тяжелых форм электрического удара человек может оказаться в состоянии клинической смерти: у него прекращается дыхание и кровообращение. При отсутствии медицинской помощи клиническая смерть (мнимая) может перейти в смерть биологическую. В ряде случаев, однако, при правильной медицинской помощи (искусственном дыхании и массаже сердца) можно добиться оживления мнимоумершего.

7.2 Основные схемы защиты от поражения электрическим током

Безопасность при работе с электроустановками обеспечивается применением различных технических и организационных мер. Они регламентированы действующими правилами устройства электроустановок (ПУЭ). Технические средства защиты от поражения электрическим током делятся на коллективные и индивидуальные, на средства, предупреждающие прикосновение людей к элементам сети, находящимся под напряжением, и средства, которые обеспечивают безопасность, если прикосновение все-таки произошло.

Основные способы и средства электрозащиты:

- изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировка;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сетей;
- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;
- зануление;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электрозащиты.

7.2.1 Защитное заземление

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Оно состоит (рис. 24.6) из заземлителя 3 (металлических проводников, находящихся в земле с хорошим контактом с ней) и заземляющего проводника 2, соединяющего металлический корпус электроустановки 1 с заземлителем. Принцип защитного заземления изображен на рисунке 39.

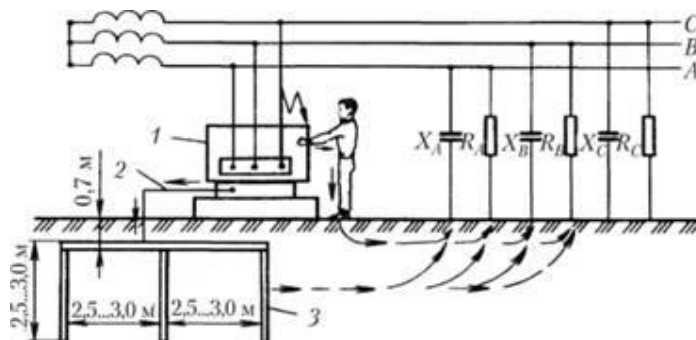


Рисунок 39 – изображение защитного заземления

На данном изображении показаны: 1 – электроустановка; 2 – заземляющий проводник; 3 – заземлитель.

При наличии заземляющего устройства образуется дополнительная цепь: фаза С – корпус электроустановки – заземляющее устройство – земля – сопротивления X_A, R_A, X_B, R_B – фазы А и В. В результате ток замыкания распределяется между заземляющим устройством и человеком. Так как сопротивление заземлителя (оно не должно превышать 10 Ом) во много раз меньше сопротивления человека (1000 Ом), то через тело человека будет проходить малый ток, не вызывающий его поражения. Основная часть тока пойдет по цепи через заземлитель.

7.2.2 Защитное зануление

Зануление – это преднамеренное электрическое соединение металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением, с глухозаземленной нейтралью источника тока (генератора или трансформатора).

Подсоединение корпусов электроустановок к нейтрали источника тока осуществляют с помощью нулевого защитного проводника (РЕ-проводника). Его нельзя путать с нулевым рабочим проводом (N-проводником), который также соединен с нейтралью источника, но служит для питания однофазных электроустановок. Нулевой защитный проводник РЕ прокладывают по трассе фазных проводов, в непосредственной близости от них. Систему, где присутствуют нулевой рабочий провод N и нулевой защитный проводник РЕ, и они разделены на всем протяжении трассы, называют системой TN-S. Буква S означает

разделение указанных проводников на всем их протяжении. Защитное зануление изображено на рисунке 40.

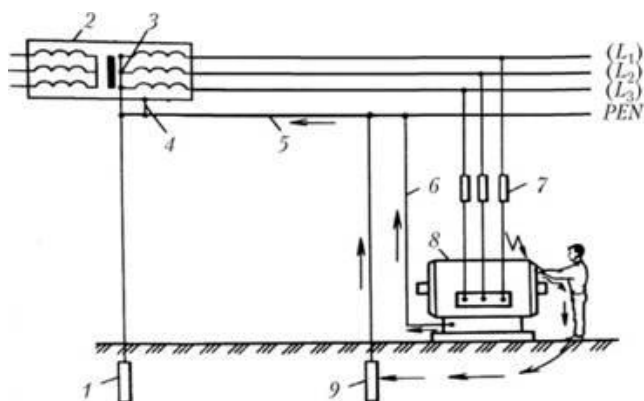


Рисунок 40 – изображение защитного зануления

На рисунке изображены: 1 – заземлитель нейтрали трансформатора; 2 – источник тока (трансформатор); 3 – нейтраль источника тока; 4 – зануление корпуса трансформатора; 5 – нулевой рабочий (он же и нулевой защитный) провод сети; 6 – нулевой защитный провод электроустановки; 7 – предохранитель; 8 – электроустановка; 9 – повторное заземление нулевого защитного провода сети; L2, L3 – фазные провода; PEN – нулевой рабочий проводник и нулевой защитный проводник, совмещенные в одном

Согласно ПУЭ не допускается использовать в качестве РЕ проводников:

- металлические оболочки изоляционных трубок и трубчатых проводов, несущие тросы при тросовой электропроводке, металлорукава, а так же свинцовые оболочки проводов и кабелей;
- трубопроводы газоснабжения и другие трубопроводы горючих и взрывоопасных веществ и смесей, трубы канализации и центрального отопления;
- водопроводные трубы при наличии в них изолирующих вставок.

7.2.3 Схема защиты в разработанной системе

В разработанной системе силовая часть заземляется с помощью заземляющего кабеля, предусмотренного на описанных ранее трансформаторах и

трансформаторных блоков.

7.3 Устройства защиты

В используемом в нашей системе обогрева трансформаторе ТСДЗ-80 имеются встроенная защита от короткого замыкания. Однако устройства защиты от короткого замыкания, в случае попадания в цепь человека, сработает не сразу ввиду высокого сопротивления человеческого тела. Данный недостаток влечет за собой повышение шанса летального исхода, поэтому включим в цепь, после трансформатора, автоматический выключатель по току, изображенный на рисунке 41.



Рисунок 41 – автомат защиты 3P 16А (В) 4,5кА ВА 47-29 EKF Basic.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной бакалаврской работы была разработана система автоматического управления температурой бетона в фундаменте, подобраны источники питания и элементы системы, разработана функциональная схема, функциональная схема автоматизации, структурная схема, принципиальная схема системы, разработан алгоритм программы, щит управления, построена имитационная модель системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Учебное пособие «Автоматическое регулирование на ТЭЦ» В.Ф. Валько, А.А. Кудинов, А.Н. Рыбалев;
- 2 Учебное пособие «Гидратация портландцемента», А. С. Брыков, 2008. – 30 с.
- 3 Сайт «СтройПартнер» [Электронный ресурс] // режим доступа: <https://st-par.ru/info/fundamenty/kak-zalit-fundament-pod-dom-svoimi-rukami/> – 17.03.2021
- 4 Твердение бетона в зависимости от температуры [Электронный ресурс] // Сайт. Prorab.ru: – 04.04.2019 – Режим доступа: <https://prorab2.ru/fundament/beton-dlya-fundamenta/tverdenie-betona-v-zavisimosti-ot-temperatury.html> – 19.03.2021
- 4 Документ «Паспорт СПБ-80, СПБ – 63, СПБ – 40» – 3.04.2021
- 5 Прогрев бетона проводом ПНСВ [Электронный ресурс] // Сайт. Dakspol.ru – 23.10.2018 – Режим доступа: <https://prorab2.ru/fundament/beton-dlya-fundamenta/tverdenie-betona-v-zavisimosti-ot-temperatury.html> – 23.03.2021
- 6 <http://brusshatka.ru/beton/massivnyye-stroitelnyye-elementy-iz-betona.php#:~:text=Удельная%20теплота%20гидратации%20определяется%20маркой,дня%2C%20соответствует%206-14%20кг%2Fм3%20цемента>