

**Е.И. Мухортова, Д.Е. Валишин**

# **МОНТАЖ СИСТЕМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА**



**Уфа 2017**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Е. И. Мухортова, Д. Е. Валишин

## **МОНТАЖ СИСТЕМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА**

**Учебное пособие**

*Второе издание, переработанное и дополненное*

Уфа  
Башкирский ГАУ  
2017

УДК 621.3  
ББК 31.29  
М 92

Рекомендовано к изданию  
методической комиссией энергетического факультета  
Башкирского ГАУ

Рецензенты:

профессор кафедры машин, аппаратов, приборов и технологий сервиса  
Уфимского государственного института экономики и сервиса,  
д.т.н. **Р. Б. Яруллин**

заведующий кафедрой электроснабжения и применения  
электрической энергии в сельском хозяйстве  
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»  
д.т.н. **Р. Р. Галиуллин**

**Мухортова Е. И., Валишин Д. Е.**

М 92 **Монтаж систем электрообогрева: учебное пособие / Е. И. Мухор-**  
това, Д. Е. Валишин. – Второе изд., переработанное и дополненное. –  
Уфа : Башкирский ГАУ, 2017. – 73 с.

В учебном пособии приведены общие сведения о распределенных системах электрообогрева зданий и сооружений. Приведена их классификация. Рассмотрена их структура, основные компоненты, конструктивные исполнения. Рассмотрена технология монтажа систем электрообогрева полов и систем электрообогрева грунта в парниках и теплицах.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 35.06.03 Агроинженерия, профили подготовки Электрооборудование и электротехнологии, Энергетические системы сельскохозяйственных потребителей.

**УДК 621.3**  
**ББК 31.29**

© Мухортова Е.И., Валишин Д.Е. 2017  
© Башкирский государственный аграрный  
университет, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 БЛОК НОРМАТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	6
1.1 Основные термины и определения	6
1.2 Общие нормативные требования к выбору и монтажу электронагревательных установок	11
1.3 Общие требования правил техники безопасности при монтаже электронагревательных установок	13
2 БЛОК ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	16
2.1 Классификация систем электрообогрева по назначению	16
2.2 Основные типы электронагревательных кабелей, используемых в системе электрообогрева	22
2.3 Теплоизоляционные материалы систем электрообогрева	27
2.4 Электрооборудование систем электрообогрева	35
3 МОНТАЖ СИСТЕМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА	49
3.1 Монтаж систем электрообогрева жилых, бытовых и производственных помещений	49
3.2 Монтаж систем электрообогрева теплиц	55
4 БЛОК МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	61
4.1 Методика и программа расчета параметров систем электрообогрева для жилых, бытовых и производственных помещений	61
4.2 Алгоритм технологии монтажа систем электрообогрева теплиц	63
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	67
ПРИЛОЖЕНИЕ А Тесты для подготовки к текущему контролю знаний по разделу	70
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Вопросы для подготовки к письменной контрольной работе по разделу	73

## ВВЕДЕНИЕ

Рабочая программа дисциплины «Технология монтажа электрооборудования зданий и сооружений» включает раздел «Монтаж систем электрообогрева» [12]. Содержание раздела связано с изучением технологии монтажа систем распределенного электрообогрева: полов в производственных и бытовых помещениях, водостоков зданий, грунта в теплицах. Хотя системы распределенного электрообогрева получили достаточно широкое распространение и их производством и монтажом успешно занимаются отечественные и зарубежные производители, в учебной литературе отсутствует рассмотрение этого вопроса. Фрагментарные сведения по данному вопросу можно получить на сайтах предприятий-изготовителей систем электрообогрева, но они, как правило, отражают положение отдельных производителей и не содержат систематизированную информацию. Кроме того при изучении технологии монтажа определенного вида электрооборудования обучающиеся должны одновременно получать знания по существующим нормативным требованиям к данному виду работ, а также по способам их безопасной эксплуатации.

Решению этих задач посвящено данное учебное пособие. Материалы учебного пособия предназначены для методического обеспечения СРС по дисциплине «Технология монтажа электрооборудования зданий и сооружений». Пособие включает также тесты и вопросы для самоконтроля знаний обучающихся, что позволяет им лучше подготовиться к текущему контролю при изучении дисциплины.

# 1 БЛОК НОРМАТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

## 1.1 Основные термины и определения

В блоке нормативного обеспечения приведены основные термины и определения по рассматриваемой теме [14].

*Установка распределенного электрообогрева* - совокупность функционально связанных между собой электронагревательных секций различного типа (кабельных, пленочных, пластинчатых), электроустановочных изделий общего назначения, кабельных линий и электропроводок для внешних соединений электронагревательных элементов со шкафом управления или блоком питания, а также механических крепежных и защитных элементов.

*Система распределенного электрообогрева* - одна или несколько находящихся в здании или сооружении установок распределенного электрообогрева.

*Система локального электрообогрева* - совокупность находящихся в здании отдельных компактных электрообогревателей (электрообогревателей, электрорефлекторов и др.).

*Электронагревательная секция (нагревательная секция)* - конструкция, состоящая из распределенного электронагревательного элемента, соединительной и концевой муфт, монтажных силовых и защитных проводов или кабелей, предназначенная для обогрева элементов здания (например, полов), сооружений, различных объектов и изделий.

*Распределенный электронагревательный элемент* - протяженное изделие, входящее в состав электронагревательной секции, преобразующее электрическую энергию в тепловую в целях нагрева.

*Кабельная электронагревательная секция* - электронагревательная секция, в которой в качестве распределенного электронагревательного элемента используют одно- или многожильный нагревательный кабель.

*Пленочная электронагревательная секция* - электронагревательная секция, в которой в качестве распределенного электронагревательного элемента используют нагревательную пленку.

*Пластинчатая электронагревательная секция* - электронагревательная секция, в которой в качестве распределенного нагревательного элемента используют нагревательную пластину.

*Нагревательный кабель* - кабельное изделие, предназначенное для преобразования электрической энергии в тепловую в целях нагрева. Различают одно- и многожильный нагревательный кабель, с экранной оплеткой, обеспечивающей электрическую и механическую защиту и предотвращающей распространение электромагнитных полей, или без нее. Изоляция кабеля, как правило, двойная и подвергнута специальной обработке, делающей ее негорючей и неплавящейся. Наружный слой изоляции может быть более прочным для защиты кабеля от повреждений при механических перегрузках.

*Саморегулирующий нагревательный кабель* - нагревательный кабель с двумя параллельными токопроводящими жилами, между которыми по всей длине находится греющая часть, выполненная из полупроводникового температурно-зависимого материала, который изменяет свое электрическое сопротивление в зависимости от температуры, а следовательно, изменяет и выделяемую тепловую энергию.

*Нагревательная пленка* - электротехническое изделие, выполненное в виде одно- или многослойной гибкой пленки или тканого материала, содержащее элементы, предназначенные для преобразования электрической энергии в тепловую в целях нагрева, или само являющееся таковым элементом.

*Нагревательная пластина* - электротехническое изделие, выполненное в виде жесткой пластины, габариты которой значительно превышают ее толщину, содержащее элементы, предназначенные для преобразования электрической энергии в тепловую в целях нагрева, или само являющееся таковым элементом.

*Монтажные концы (холодные концы)* - элементы электронагревательной секции, выполненные из изолированных отличающихся по цвету силовых и ус-

тановочных проводников (или кабеля с отличающимися по цвету жилами) определенного сечения, предназначенные для соединения электронагревательного элемента нагревательной секции с электрической сетью.

*Соединительная муфта* - элемент кабельной электронагревательной секции, предназначенный для электрического и механического соединения жил нагревательного кабеля с монтажными концами или с жилами другого нагревательного кабеля (при необходимости последовательного соединения между собой двух или нескольких нагревательных кабелей) и обеспечения герметичности соединения.

*Соединительное устройство* - элемент пленочной или пластинчатой электронагревательной секции, предназначенный для электрического и механического соединения нагревательной пленки или пластины с монтажными концами и обеспечения герметичности соединения.

*Концевая муфта* - элемент кабельной электронагревательной секции, предназначенный для электрического и механического соединения жил нагревательного кабеля между собой с герметизацией и механической защитой места соединения или только для герметизации и защиты конца секции, к которому не присоединены монтажные концы.

*Нормируемая мощность электронагревательной секции* - мощность (в ваттах), выделяемая электронагревательной секцией в заданных температурных условиях, например при 20 °С.

*Номинальная мощность электронагревательной секции* - мощность (в ваттах), используемая в расчетах при определении линейного или поверхностного тепловыделения.

*Установленная мощность электронагревательной секции* - максимальная мощность (в ваттах), выделяемая электронагревательной секцией в заданном диапазоне условий ее эксплуатации.

*Рабочее напряжение электронагревательной секции* - номинальное эффективное напряжение, при котором предусмотрена эксплуатация электронагревательной секции.

*Рабочая температура электронагревательной секции* - максимально допустимая непрерывно воздействующая на изоляцию электронагревательных элементов температура (в градусах Цельсия) электронагревательной секции, находящейся под рабочим напряжением.

*Максимальная температура электронагревательной секции* - максимальная температура (в градусах Цельсия), установленная для электронагревательной секции, не находящейся под рабочим напряжением, обусловленная свойствами материалов, использованных при изготовлении секции.

*Основная система отопления* - система отопления здания (сооружения), содержащая установки обогрева, постоянно обеспечивающие теплом помещения и иные объекты в отопительный период, например системы центрального водяного отопления, системы электрообогрева и т. п.

*Дополнительная система отопления* - система отопления здания (сооружения), содержащая установки обогрева, периодически обеспечивающие теплом помещения при понижении температуры ниже требуемой для создания в помещении комфортных условий совместно с основной системой отопления и с находящимися в помещении людьми, сельскохозяйственными животными и другими тепловыделяющими объектами. Дополнительная система отопления включает в себя, как правило, устройство, которое контролирует и автоматически поддерживает в помещении или ином объекте заданную температуру.

*Универсальная система отопления* - система отопления здания (сооружения), сочетающая в себе свойства как основной, так и дополнительной систем отопления.

*Система заземления электрической сети (заземляющая система электрической сети; система заземления; заземляющая система)* - совокупность заземляющего устройства подстанции, заземляющего устройства открытых проводящих частей потребителя и нейтрального (иногда фазного) проводника в электроустановке напряжением до 1 кВ.

*Тип системы заземления электрической сети (тип электрической сети)* - показатель, характеризующий отношение к земле нейтрали (или фазы) транс-

форматора на подстанции и открытых проводящих частей у потребителя, а также устройство нейтрального проводника.

*Открытая проводящая часть* - часть оборудования, доступная прикосновению, обычно не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

*Сторонняя проводящая часть* - токопроводящая часть, не являющаяся частью электроустановки и способная распространять потенциал, обычно электрический потенциал локального заземления.

*Токоведущая часть* - проводник или электропроводящая часть, находящиеся под напряжением в процессе нормальной работы, включая нулевой рабочий проводник.

*Напряжение прикосновения* - напряжение (эффективное) между открытыми проводящими частями при одновременном к ним прикосновении человека или животного, а также между открытой проводящей частью, к которой прикасается человек или животное, и землей или проводящим полом в месте, где находятся ноги/конечности.

*Расчетное напряжение прикосновения* - напряжение между одновременно доступными проводящими частями или проводящей частью и землей, когда к ним не прикасается человек или животное.

*Шаговое напряжение* - напряжение (эффективное) в зоне растекания тока с заземления или с находящейся в контакте с землей проводящей части в землю между двумя находящимися на поверхности этой земли точками, отстоящими одна от другой на расстоянии 1 м, применительно к человеку, и 1,4 м — применительно к крупному рогатому скоту и лошадям.

*Выравнивание потенциалов* - обеспечение электрической связи между открытой проводящей частью и находящимися в земле или проводящем полу проводящими частями (проводниками), предназначенной для обеспечения близкого по значению потенциала между открытой проводящей частью, к которой может прикасаться человек или животное, и поверхностью земли или проводящего пола.

*Устройство выравнивания потенциалов (УВЭП)* - совокупность находящихся в земле или проводящем полу проводящих частей (проводников), электрически соединенных между собой и с открытыми проводящими частями для целей выравнивания потенциалов.

## **1.2 Общие нормативные требования к выбору и монтажу электронагревательных установок**

Общие нормативные требования к выбору и монтажу электронагревательных установок регламентирует ГОСТ Р 50571.25-2001 [14].

1.2.1 Системы распределенного электрообогрева рекомендуется применять для обогрева зданий и сооружений в качестве основной, дополнительной и универсальной систем отопления и в первую очередь в помещениях и объектах с холодными полами (метлахская плитка, кафель, бетон, мрамор, асфальт, металлическое перфорированное покрытие и т. п.), а также для отдельно стоящих зданий и в случаях невозможности использования централизованных систем отопления.

Их рекомендуется также применять в качестве противообледенительных систем для крыш зданий, водосточных систем, покрытий дорог, тротуаров, подземных переходов; систем обогрева трубопроводов, резервуаров и технологического оборудования.

В сельскохозяйственном производстве системы следует использовать в первую очередь для обогрева полов в стойлах и клетях содержания молодняка (поросят, ягнят и телят), при выращивании свиней, овец и крупного рогатого скота, а также в парниках и теплицах для создания оптимального микроклимата.

1.2.2 Температура на поверхности систем распределенного электрообогрева не должна превышать значений, установленных строительными и санитарно-гигиеническими нормами и правилами.

1.2.3 Установки распределенного электрообогрева должны быть оснащены автоматическими системами поддержания заданной температуры или быть рассчитаны таким образом, чтобы при отсутствии терморегулирования была исключена возможность превышения предельно допустимых температур для данного объекта и используемых электронагревательных секций. Выполняя температурный расчет установки распределенного электрообогрева, не оборудованной средствами регулирования температуры, необходимо учитывать поступление тепла от находящихся в помещении людей, сельскохозяйственных животных, бытовых электроприборов и электроосвещения, элементов горячего водоснабжения, а также солнечного тепла.

1.2.4 При проектировании системы распределенного электрообогрева для использования ее в здании или сооружении в качестве дополнительной, следует предусматривать возможность выполнения ею в любой момент функции основной (с минимальными требованиями по обогреву) на случай аварийного отключения в здании или сооружении основной системы отопления (например, при прорыве трубопровода горячей воды центрального водяного отопления) с тем, чтобы она смогла обеспечить в помещениях требуемую минимальную температуру, исключаящую, например, размораживание системы.

1.2.5 При выполнении тепловых расчетов систем распределенного электрообогрева бетонного пола толщиной не менее 10 см, в который заложен нагревательный кабель, необходимо учитывать теплоаккумулирующую способность, позволяющую накапливать тепло в толще пола и тем самым длительно сохранять тепловой режим в помещении при выключенном питании, что сокращает эксплуатационные расходы при введении многотарифной шкалы цен на электроэнергию, поскольку на время действия наивысшего тарифа систему можно отключать и вновь включать во время действия самого низкого тарифа (обычно ночью).

1.2.6 Системы распределенного электрообогрева в части обеспечения пожарной безопасности должны соответствовать ГОСТ 12.1.004-9 [11].

### **1.3 Общие требования правил техники безопасности при монтаже электронагревательных установок**

1.3.1 Для обеспечения электробезопасности питание установок распределенного электрообогрева может осуществляться от электрических сетей напряжением до 1 кВ с системами заземления любых типов, а именно: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT. Но в настоящем учебном пособии рассматривается питание установок распределенного электрообогрева от электрических сетей напряжением до 1 кВ с системами заземления TN-S, TN-C-S, как наиболее распространенных и обеспечивающих требуемый уровень электробезопасности.

Принципиальные электрические схемы подключения установок распределенного электрообогрева приведены на рисунках 1.1 и 1.2.

1.3.2 Электрические схемы систем распределенного электрообогрева должны быть приведены в технической документации предприятия-изготовителя.

1.3.3 Основной защитой от поражения электрическим током в электроустановках распределенного электрообогрева является двойная или усиленная изоляция токоведущих частей распределенных электронагревательных элементов (нагревательных и вспомогательных жил электронагревательного кабеля, токоведущих частей монтажных концов, нагревательных пленок, токоведущих элементов электронагревательных пластин). Дополнительной защитой является применение автоматических выключателей дифференциального тока (АВДТ) по ГОСТ Р 51327.1-2010 [3] и выключателей дифференциального тока (ВДТ) по ГОСТ Р 51326.1-99 [2] или УВЭП.

1.3.4 Использование ВДТ без аппаратов защиты от сверхтоков, установленных до ВДТ (считая по направлению от источника питания), не допускается.

1.3.5 Номинальный отключающий дифференциальный ток автоматических выключателей дифференциального тока не должен превышать 30 мА.

1.3.6 Требования электробезопасности — по ГОСТ Р 50571.3-2009 [4], а также [6, 7, 9].

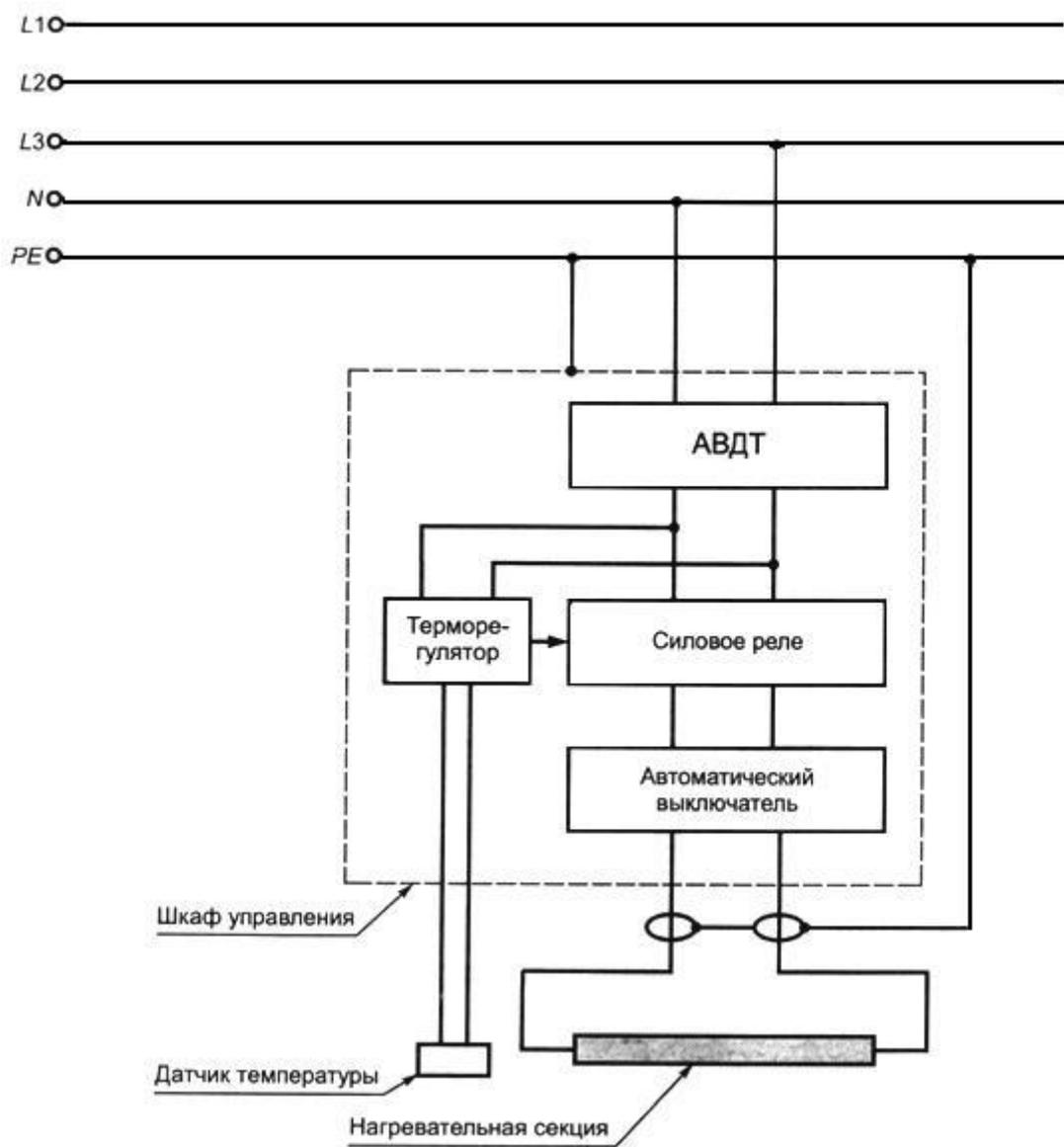


Рисунок 1.1 Принципиальная электрическая схема подключения установки распределенного электрообогрева к электрической сети с системой заземления типа TN-S: АВДТ - автоматический выключатель дифференциального тока

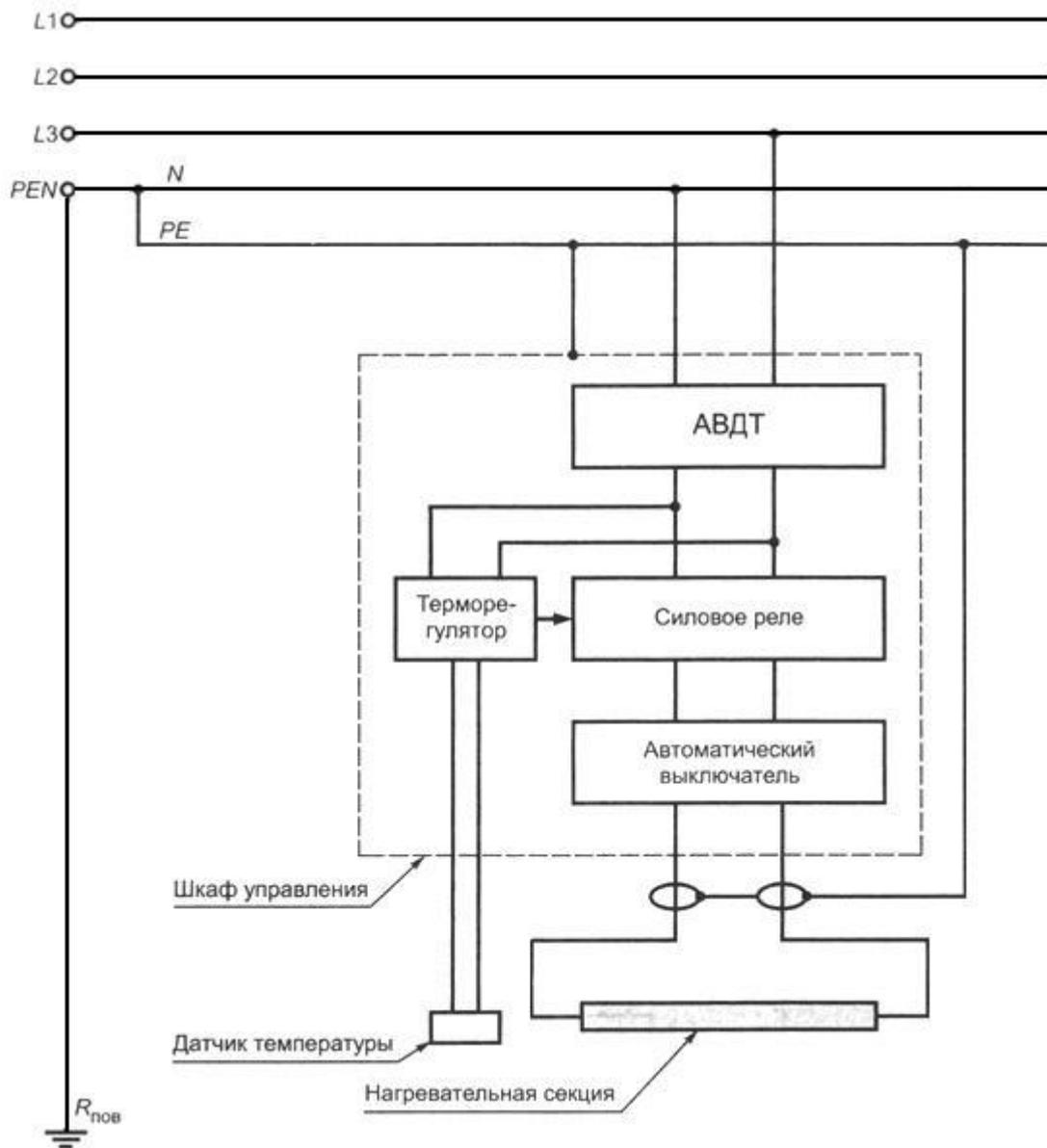


Рисунок 1.2 Принципиальная электрическая схема подключения установки распределенного электрообогрева к электрической сети с системой заземления типа TN-C-S: АВДТ - автоматический выключатель дифференциального тока;  $R_{пов}$  - заземлитель повторного заземления PEN-проводника

## 2 БЛОК ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

### 2.1 Классификации систем электрообогрева по назначению

Системы распределенного электрообогрева пригодны для обогрева помещений сложной формы со значительным перепадом температур в разных зонах помещения и даже на открытом воздухе. Например, для подогрева поверхностей игровых полей открытых стадионов или для периодического подогрева в зимний период поверхности огороженных загонов в южных регионах страны, где круглогодично, даже в зимнее время содержат крупный рогатый скот на открытом воздухе. Обогреваемой поверхностью может быть крыша дома, если она оборудована антиобледенительным устройством, поверхность открытого футбольного поля для создания комфортных условий игрокам в холодное время и др. Электронагревательные элементы и электронагревательные кабели выпускаются как зарубежными производителями, так и российскими промышленными предприятиями. Например, продукция крупнейшего отечественного производителя систем электрообогрева ООО «Теплолюкс» представлена на российском рынке с 1994 г. [13].

#### 2.1.1 Системы электрообогрева пола в помещениях

Электрообогреваемые полы и поверхности в настоящее время широко применяются в жилищном строительстве и во многих других отраслях народного хозяйства, в том числе и в сельском хозяйстве.

Здания с электрообогреваемыми полами обычно применяют в случаях, когда необходимо обеспечить самое благоприятное распределение температуры по высоте помещения. Поверхность пола в таких помещениях нагревается до 25...30 °С, а воздух на высоте до 2 м имеет температуру 18...20 °С, что создает наиболее комфортные условия для человека. Такое распределение температуры вызывает незначительные конвективные потоки, приводящие к минимальному подъему пыли с пола.

Применение теплого пола в сельском хозяйстве – это экономичный локальный обогрев животных, способствующий повышению сохранности животных и увеличению прироста живой массы. Обогрев животных снизу (на теплом полу) физиологически более полезен, чем сверху (лампами). Кроме того, на плитах животные размещаются более равномерно, чем под навесными лампами. Они не скучиваются и не ложатся друг на друга. Поддержание оптимального температурного режима на поверхности пола в итоге способствует повышению сохранности молодняка (на 2...3 % и более) и прироста живой массы (на 3...4 % и более).

Расход электроэнергии, необходимый для доведения обогреваемых поверхностей пола до заданных технологических параметров, не превышает установленной нормы и наоборот снижается по сравнению с другими устройствами локального обогрева животных, используемых в животноводческих хозяйствах, в 1,5...2 раза.

В связи с тем, что холодный и влажный пол является причиной множества болезней у животных многочисленными наблюдениями практиков и специальными экспериментами ученых установлено, что отклонение температуры окружающей среды от оптимальной ведет к снижению продуктивности животных на 15...30 % и увеличению расхода кормов на 25...50 %. В свинарниках откормочниках снижение температуры всего на 1°С сопровождается уменьшением суточного прироста живой массы свиней на 2 %.

До некоторых пор эта проблема решалась традиционным способом, в качестве источника локального тепла на свинокомплексах и фермах используются инфракрасные лампы ИКЗ-250 - 500, ИКУФ-1, ОБУ-160 и др. мощностью от 250 до 500 Вт. Но зачастую данная система обогрева не обеспечивает должным образом прогревание поверхности до требуемой температуры.

Современным решением данного вопроса является применение нагревательных плит НП-15, серийно выпускаемых российским предприятием «Специальные системы и технологии». Плита – это надежное изделие из термопласткомпозиатов, внутри которого расположен нагревательный кабель повышенной

устойчивости к перегреву. Экологически чистые, безопасные для здоровья, износостойкие, экономичные, обладающие большим сроком службы нагревательные плиты получили широкое распространение на свинокомплексах и фермах.

2.1.2 Системы электрообогрева теплиц в настоящее время широко применяются как в теплицах фермерских хозяйств, так и в крупных теплицах агропромышленных предприятий. Применение таких систем позволяет использовать теплицы круглогодично, обеспечивает широкий диапазон регулирования температур и более высокий уровень автоматизации управления по сравнению с другими известными системами обогрева.

### 2.1.3 Системы обогрева трубопроводов и защиты от размораживания

В нефтедобывающей и нефтехимической промышленности трубопроводы различного калибра и назначения зачастую дают сбои из-за пробок, сужения проходного сечения и высокой вязкости транспортируемых жидкостей. Поддерживая требуемую технологией температуру, система обогрева трубопроводов и защита их от размораживания, обеспечивает низкую вязкость жидкостей, расчетную производительность и наименьший расход электроэнергии. Обогрев трубопроводов с водой устраняет опасность их разрушения при замерзании.

Системы обогрева трубопроводов и защиты от размораживания разработаны для применения со всеми типами трубопроводов: металлических и пластмассовых. Пластиковые трубы покрываются фольгой в месте соприкосновения с нагревательным кабелем. Система предохраняет трубопроводы с горячей и холодной водой от замерзания, нефтепроводы и трубы для перекачки других жидкостей и химикатов - от закупорки или кристаллизации веществ.

В системе обогрева трубопроводов и защиты от размораживания используют в качестве тепловыделяющих элементов нагревательные кабели, поскольку они наилучшим образом решают задачу обогрева разветвленных и длинных трубопроводов. В отличие от обычных силовых кабелей, назначение которых передать электроэнергию к нагрузке с минимальными потерями, нагревательные кабели сами являются нагрузкой, но нагрузкой распределенной. Все на-

пряжение, подаваемое на нагревательный кабель, падает в нем. Происходящее при этом выделение тепла не вызывает перегрева кабеля или обогреваемого объекта. Используются два основных типа нагревательных кабелей: резистивные и саморегулирующиеся.

Наиболее эффективно эту задачу решают саморегулирующиеся нагревательные кабели. Благодаря эффекту саморегулирования кабель выделяет тем больше тепла, чем ниже температура трубопровода, при повышении температуры его тепловыделение уменьшается. Таким образом, он сберегает электроэнергию, никогда не перегревается и не перегорает, даже при самопересечении.

#### 2.1.4 Антиобледенительные системы на крышах зданий

Осадки в виде снега, находясь на кровле, не представляют собой особой опасности. Однако, если создаются условия для таяния снега, под действием какого-либо источника тепла, он превращается в воду. Если у образовавшейся талой воды отсутствуют пути для быстрого схода с кровли, то при наступлении отрицательной температуры она замерзает, превращаясь в лед.

Поскольку необходимые условия для таяния (и скорость таяния) у льда и снега весьма различны, при следующем кратковременном действии источника теплоты возможно не таяние, а, напротив, увеличение ледовой пробки. Такой механизм образования наледи может приводить к образованию ледяных заторов, пробок и сосулек длиной в десятки метров и весом в сотни килограмм.

Использование антиобледенительной системы позволяет исключить сколько-нибудь заметное образование наледи в водосточных трубах, желобах, на краю кровли и в других местах ее наиболее вероятного появления.

Появление наледи опасно по нескольким причинам:

- отрыв достаточно массивных ледовых масс создает реальную опасность для жизни людей и может стать причиной весьма значительного материального ущерба (повреждения автотранспорта, нижележащих архитектурных элементов);

- повышенная механическая нагрузка на элементы кровли из-за накопления льда приводит к сокращению ее срока службы;

- задержка воды на поверхности кровли в осенне-весенний период и при оттепелях из-за закрытости водостоков и желобов приводит к протечкам и значительному материальному ущербу (наиболее часто повреждаются жилые этажи непосредственно под кровлей, части фасада здания вблизи водостоков и водоотводов);

- необходимость механической очистки кровли, из-за которой резко снижается срок службы кровли.

Внедрение антиобледенительных систем на основе нагревательных кабелей при условии правильного проектирования, учитывающего особенности конструкции кровли, позволяет:

- исключить образование наледи и сосулек при сравнительно невысоких капитальных затратах и незначительном энергопотреблении;

- обеспечить работоспособность системы организованного водостока в течение зимы и межсезонья;

- исключить протечки, повреждение фасадов и водосточных труб.

Антиобледенительная система включает в себя:

- греющую часть, состоящую из нагревательных кабелей и аксессуаров для их крепления на кровле, и непосредственно выполняющую задачу перевода осадков в виде снега или инея в воду вплоть до полного их удаления; в состав греющей части могут входить также воронки со встроенным подогревом, элементы снегозадержания, взаимодействующие с нагревательными элементами;

- распределительную и информационную сеть, обеспечивающую питание для всех элементов греющей части и проведение информационных сигналов от датчиков до щита системы управления;

- систему управления, содержащую шкаф управления, специальные терморегуляторы, датчики температуры, осадков и воды, пускорегулирующую и защитную аппаратуру, соответствующую мощности системы и классу исполнения шкафа управления.

На горизонтальных частях кровли суммарная удельная мощность на единицу площади поверхности обогреваемой части (лоток, желоб и т.п.) должна составлять не менее 180...250 Вт/кв.м.

Линейная мощность нагревательных кабелей в водостоках должна составлять не менее 20...30 Вт на 1 метр длины водостока и увеличивается по мере увеличения длины водостока до 60...70 Вт/м.

Работа антиобледенительных систем при температурах ниже  $-15...-20^{\circ}\text{C}$ , как правило, не нужна. Во-первых, при таких температурах не идет образование наледи и резко уменьшается количество влаги на крыше. Во-вторых, при этих условиях количество выпадающих осадков в виде снега также уменьшается. В-третьих, на таяние снега и увод влаги по достаточно длинному пути нужны более значительные электрические мощности.

#### 2.1.5 Антиобледенительные системы открытых сооружений

Применяются на открытых площадях, стоянках автотранспорта, лестницах, дорогах в зимний период осуществляют обогрев при помощи бронированных нагревательных секций. Кабель нагревательных секций равномерно раскладывается на обогреваемые площади и закрывается цементно-песчаной или бетонной стяжкой. Поверх стяжки укладывается отделочное покрытие (плитка, асфальт и т. д.).

Нагревательные секции подключаются к терморегулятору, который автоматически включает или выключает обогрев. Антиобледенительная система растопит образовавшийся снег и лед и отведет талую воду по обогреваемым дренажным лоткам в канализацию. Удельная мощность обогрева лестничных ступеней составляет не менее  $300 \text{ Вт/м}^2$ , а площадок - не менее  $250 \text{ Вт/м}^2$ .

Основным элементом антиобледенительной системы служат секции из бронированных нагревательных кабелей, обладающих следующими свойствами:

- высокая механическая прочность и надежность;
- высокая теплоотдача - за счет значительной массы металлической брони и небольшого термического сопротивления;

- возможность укладки непосредственно в бетон с любым наполнителем или цементно-песчаный раствор;

- дополнительная защита брони нагревательных секций от воздействия влаги полимерной оболочкой;

- небольшой вес и достаточная гибкость, что крайне упрощает монтаж.

Антиобледенительные системы электрообогрева являются эффективными и экономичными поскольку: быстро очищают от снега и льда любые открытые поверхности; делают ненужной механическую очистку поверхностей; увеличивают срок службы дорожного покрытия в несколько раз.

## **2.2 Основные типы электронагревательных кабелей, используемых в системах электрообогрева**

В системах электрообогрева применяются электронагревательные кабели двух типов: резистивные и саморегулирующиеся.

2.2.1 *В резистивном кабеле* выделение тепла происходит за счет омических потерь в нагревательной жиле кабеля.

Резистивные электронагревательные кабели могут быть одножильными и двухжильными. Двужильный кабель, помимо нагревательной, содержит токопроводящую жилу, что упрощает схему его подключения.

Тепловая мощность резистивных кабелей практически не зависит от температуры. Для обеспечения длительной и надежной работы кабелей этого типа важно соблюдать расчетные условия теплоотдачи, чтобы не вызвать перегрева.

Резистивные одножильные и двухжильные кабели применяют:

1) В системах электрообогрева пола в помещениях.

Применение одножильных или двухжильных резистивных нагревательных кабелей зависит от влажности помещения, типа обогрева (основной или комфортный), а также площади обогрева.

В сухих помещениях используют одножильные и двухжильные неэкранированные кабели. Погонная мощность кабеля - 15 Вт/м, максимально допусти-

мая мощность -  $260 \text{ Вт/м}^2$  поверхности. Например, для основной системы электрообогрева можно применить одножильный электронагревательный кабель 15 ТЛОЭ2-13 или двухжильный электронагревательный кабель 15 ТЛБЭ2-13.

Технические характеристики кабелей 15 ТЛОЭ2-13 и 15 ТЛБЭ2-13 [13]:

- удельная мощность  $15 \text{ Вт/м}$ ;
- длина секции  $13 \text{ м}$ ;
- рабочий ток  $0,9 \text{ А}$ ;
- электрическое сопротивление  $218...250 \text{ Ом}$ .

Во влажных помещениях используют одножильные и двухжильные кабели в тефлоновой оболочке с экранированной металлической оплеткой, используемой для заземления кабеля. Погонная мощность электронагревательных кабелей -  $15...20 \text{ Вт/м}$ . В таких системах применяются, например, электронагревательные кабели Ceilhit PSVD.

Технические данные электронагревательного кабеля PSVD:

- напряжение  $220...230 \text{ В}$ ;
- удельная мощность  $18 \text{ Вт/м}$ ;
- мощность секций  $115...3200 \text{ Вт}$ ;
- максимальная температура внутренней жилы  $150^{\circ}\text{C}$ ;
- максимальная температура на поверхности  $70^{\circ}\text{C}$ .

В помещениях с нормальной влажностью могут использоваться те же самые кабели, но без дополнительной защитной оболочки или металлической оплетки, используемой для заземления.

2) В антиобледенительных системах на открытых площадях, лестницах, дорогах.

Выбор происходит с учетом возможности наноса снега ветром и частичного расходования тепла на обогрев грунта оптимальной признана удельная мощность обогрева, равная  $250...300 \text{ Вт/м}^2$ . Для обогрева футбольных полей и площадок с естественной травой мощность обогрева обычно не превосходит  $130 \text{ Вт/м}^2$ , чтобы исключить пересушивание почвы. Для полей с искусственным покровом устанавливаются системы с удельной мощностью  $150...200 \text{ Вт/м}^2$ .

Для обогрева дорог применяют, например, резистивный двухжильный электронагревательные кабели БН и БНБ, с мощной двухповивной проволочной броней.

Конструкция нагревательного кабеля БН:

- нагревательная жила: многопроволочная, из стальных оцинкованных проволок;
- изоляция: двухслойная из сополимера полипропилена;
- броня: двухповивная из стальных оцинкованных проволок.

Технические характеристики нагревательного кабеля БНБ: максимальная температура жилы - 130°C; минимальная температура монтажа - 20°C; напряжение питания - ~ 220...240 В.

2.2.2 В саморегулирующихся кабелях тепловыделение может изменяться по длине секции в зависимости от локальных теплотерь. Фактически каждый участок кабеля «приспосабливается» к окружающим именно его внешним условиям. Тепловыделение нормируется для стандартизованных условий и обычно входит в наименование кабеля.

Особенности применения: кабель может быть использован произвольными длинами (от 0,2 м до десятков метров), причем резка может производиться на объекте при монтаже. Ограничение накладывается на предельную длину, которая для разных типов кабелей составляет от 60...100 м.

В системах на основе саморегулирующихся кабелей следует учитывать существенную разницу между пусковым и номинальным токами (в 2...3 раза), что должно быть учтено в типах пускорегулирующей аппаратуры и указано в сопроводительной документации на систему.

Саморегулирующиеся кабели могут выполняться: армированными и бронированными.

В армированных кабелях тепловыделяющий элемент – металлические жилы, изолированные жестким теплостойким пластиком. Защищены оболочкой из атмосферостойкого компаунда и бронирующей оплеткой из стальных проволок. Плоская форма кабеля и наличие стальной оплетки обеспечивают улуч-

шенную теплопередачу от кабеля к обогреваемым поверхностям. Линейное тепловыделение – 30 Вт/м. Двухжильная конструкция кабеля позволяет производить нагревательные секции с монтажными концами только с одной стороны, что упрощает монтаж секций. Основное назначение армированных кабелей — системы обогрева простых по конструкции и небольших по размерам водосточных систем.

Армированные секции постоянной мощности марки ТСБЭ с номинальной линейной мощностью 30 Вт/м используются для обогрева желобов, лотков, водосточных труб небольших зданий.

В бронированных кабелях тепловыделяющий элемент – металлическая жила. Имеет броню из стальных оцинкованных проволок, которая обеспечивает надежную механическую защиту кабеля и повышенную удельную мощность. Линейное тепловыделение – 20...30 Вт/м.

Бронированные нагревательные кабели по своим характеристикам близки к резистивным кабелям постоянной мощности. Существенным является резкое увеличение допустимой температуры жилы до 130°C, механической прочности кабеля и его теплоотдающей способности. Запас работоспособности кабеля позволяет производить определенное изменение длины секции непосредственно на объекте (прирезку) на длину 1...2 м. Кабели выпускаются одно- и двухжильными.

Саморегулирующиеся кабели применяют:

1) В системах электрообогрева трубопроводов и защиты от размораживания.

Тип кабеля выбирается таким образом, чтобы компенсировать возможные теплотери. В основном используются двухжильные саморегулирующиеся кабели. Кабели могут работать в диапазоне температур окружающей среды – 40...+ 60 °С и напряжении до 380 В постоянного или переменного тока, возможно подключение на напряжение 220 В без угрозы перегрева провода.

2) В антиобледенительных системах на крышах зданий.

Нагревательные кабели для антиобледенительных систем должны удовлетворять следующим требованиям:

- устойчивость к атмосферным осадкам, солнечной радиации, воздействию отрицательных и положительных температур, которые могут достигать – 40 °С зимой и + 90 °С летом;
- достаточно высокая механическая прочность, чтобы противостоять нагрузкам от снега и льда;
- линейная тепловая мощность, достаточную для эффективного плавления снега (не менее 20 Вт/м);
- высокие электроизоляционные свойства, с целью обеспечения электрической безопасности систем.

Нагревательные кабели, устанавливаемые на кровлях, в обязательном порядке должны иметь двухслойную теплостойкую электрическую изоляцию и металлический экран с сопротивлением не более, чем у медной жилы сечением 1 мм<sup>2</sup>.

Широкое применение приобрели саморегулирующиеся электронагревательные кабели марки – Gte, имеющие токопроводящие медные жилы сечением 1 мм<sup>2</sup> с изоляцией из полиолефина. Оплетка кабеля выполнена из луженой медной проволоки, а наружная оболочка устойчива к ультрафиолетовому излучению.

Технические характеристики саморегулирующихся электронагревательных кабелей GTe:

- максимальная температура (рабочая под нагрузкой) 65°С;
- минимально допустимая температура монтажа - 30°С;
- напряжение питания ~220...240 В;
- максимальное сопротивление защитной оплетки 18,2 Ом/км;
- минимальный радиус изгиба 35 мм;
- тепловыделение во льду при 0°С 36 Вт/м;
- тепловыделение в воздухе при 0°С 18 Вт/м.

## 2.3 Теплоизоляционные материалы систем электрообогрева

Для качественной работы систем обогрева, уменьшения тепловых потерь и экономии затрат на электроэнергию важно обеспечить хорошую теплоизоляцию монтажной поверхности. Для этого необходимо перед укладкой кабеля на всю поверхность основания уложить слой теплоизоляционного материала, толщина и физические свойства (теплопроводность) которого обусловлены конструкцией покрытия и условиями эксплуатации.

Теплоизоляционный материал должен обладать низкой теплопроводностью, не хуже  $0,05 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , и малым коэффициентом объемного расширения при изменении температуры. Необходимо учитывать также пожароопасные свойства материала.

Стоимость теплоизоляции не вызывает существенного увеличения затрат при покупке системы, но приводит к заметной экономии электроэнергии при ее эксплуатации. Теплоизоляция снижает непроизводительные потери тепла на обогрев перекрытия, грунта и других конструкций, лежащих ниже помещения. С ее помощью можно сэкономить до 10...30% электроэнергии, потребляемой системой электрообогрева.

Если система электрообогрева используется как основная система отопления, рекомендуется использовать твердые сорта пенополистирола (ППС) толщиной от 30 мм, покрытые слоем алюминиевой фольги толщиной от 0,3 мм с полимерным защитным слоем.

Если система электрообогрева используется для создания комфортной системы отопления, допустимо использовать теплоизоляцию на основе вспененных материалов (например, фольгопена), толщиной 3...10 мм. Рекомендуется использовать фольгированную теплоизоляцию, защищенную полимерным слоем для увеличения долговечности.

Для подвалов, гаражей и других помещений, в которых пол непосредственно соприкасается с грунтом, желательно использовать жесткие пенопластовые или минераловатные плиты толщиной 30 мм и более.

Выполнение монтажа систем электрообогрева без применения теплоизоляции не рекомендуется. В случае использования электронагревательных матов выполняется монтаж без теплоизоляции.

Рассмотрим более подробно эксплуатационные свойства некоторых теплоизоляционных материалов.

### 2.3.1 Натуральная пробка, покрытая алюминиевой фольгой

В силу низкой теплопроводности наиболее предпочтительным теплоизоляционным материалом является натуральная пробка. В этом случае толщина теплоизоляционного слоя минимальна. Теплоизолирующие свойства натуральной пробки таковы: во-первых, она обеспечивает весьма существенную экономию электроэнергии при минимальной толщине (2 мм). Во-вторых, пробка не деформируется под тяжестью бетона при заливке, что гарантирует сохранение толщины теплоизоляционного слоя, а значит и его низкой теплопроводности. В-третьих, материал относится к экологически чистым. В-четвертых, пробка не изменяет своего объема при изменении температуры, которая может подниматься до 70 °С в нормальном режиме. Однако, серьезным недостатком для массового использования является высокая стоимость этого материала. Листовая пробка в комплекте с алюминиевой фольгой в 2,5...3 раза дороже других теплоизоляционных материалов.

Алюминиевая фольга, покрывающая пробку, образует теплоотражающий и тепловыравнивающий экран. Цемент в жидком состоянии является агрессивной средой. При заливке стяжки происходит химическая реакция, которая может привести к разрушению фольги. Соответственно, после разрушения фольги жидкий цемент может контактировать с пробкой и со временем привести к ее разрушению. Для предотвращения разрушения фольги можно использовать ламинированную фольгу, т.е. фольгу, покрытую тонким слоем полиэтилена, предотвращающего контакт металла с цементом.

### 2.3.2 Отражающая теплоизоляция «Пенофол»

Отражающая теплоизоляция пенофол – представляет собой комбинированный материал. Это слой вспененного полиэтилена, с одной или двух сторон

покрытый алюминиевой фольгой высокого качества. Пенофол – пенополиэтилен фольгированный – листовой рулонный материал, представляющий собой неплохую альтернативу натуральной пробке с фольгой, фольга дополнительно защищена специальной влагонепроницаемой пленкой, что защищает ее от разрушения агрессивными компонентами бетона. Пенофол уступает пробке по единственному показателю – теплопроводности. Полиэтилен, как таковой – имеет плохие теплоизоляционные свойства. Но пенополиэтилен решает задачу сохранения тепловой энергии за счет пузырьков воздуха в его структуре. Поэтому чем толще пенофол, тем он эффективнее. Применение пенофола для многоквартирного дома, является идеальным вариантом. В остальных случаях требуется индивидуальный подход к выбору типа теплоизоляции.

### 2.3.3 Изолон

Сегодня ОАО "Ижевский завод пластмасс" - крупнейший производитель физически сшитого вспененного полиэтилена под торговой маркой ИЗОЛОН®.

Изолон - это гигиенически чистый, стабильно эластичный, закрытопористый материал, при низкой плотности от 30...200 кг/м<sup>3</sup>, практически паронепроницаемый и малогигроскопичный, с очень низким процентом водопоглощения - менее 1% (по объему), хороший теплоизолятор и шумозащита, обладающий высокой стойкостью к атмосферным воздействиям, в том числе и к ультрафиолетовому излучению. Не теряет гибкости и эластичности при - 60<sup>0</sup>С, выдерживает длительное время воздействие температуры до + 125<sup>0</sup>С.

подавляющее большинство пенополиэтиленов, применяемых для утепления, относятся к «несшитым» пенополиэтиленам, называемым еще «газонаполненными». Изолон в отличие от них относится к «сшитым» пенополиэтиленам.

Важной характеристикой вспененных полиэтиленов является понятие "сшивки", под которой понимают модификацию структуры полиэтилена, приводящую к созданию поперечно-связанной или сетчатой молекулярной модели. Сшивка осуществляется химическим или физическим способом. За счет «сшивки» молекул увеличиваются такие важнейшие параметры пенополиэтилена, как: теплостойкость (рабочий температурный интервал «сшитых» пенополи-

этиленов, как правило, на 20...30 °С выше «несшитых»), стойкость к органическим растворителям, масло-, нефте-, бензостойкость, большая стойкость к ультрафиолету и атмосферостойкость, а значит более длительный срок службы. В системах электрообогрева полов рекомендуется использовать изолон марки ППЭ - физически сшитый вспененный полиэтилен с диапазоном плотностей от 33...200 кг/м<sup>3</sup> и рабочим температурным интервалом от - 60...+100 °С. Благодаря своей структуре, этот материал обладает уникальным набором свойств:

- высокие теплоизоляционные свойства, с которыми могут соперничать только экструдированный пенополистирол и пенополиуретан (теплопроводность изолона составляет 0,031...0,036 Вт/м<sup>2</sup> при 20 °С);
- низкое водопоглощение (менее 1% от объёма);
- широкий диапазон рабочих температур (от - 80...+ 100 °С);
- эластичность изолона обеспечивают легкость конструкций и простоту работы с материалом;
- стойкость к гниению;
- экологическая и гигиеническая безопасность.

В таблице 2.1 приведены сравнительные свойства теплоизоляционных материалов, применяемых в системах электрообогрева.

Таблица 2.1 Сравнительная таблица свойств теплоизоляционных материалов

Тип материала	Паро-изоляция	Тепло-изоляция	Звуко-изоляция	Шумо-изоляция	Гидро-изоляция	Устойчивость к деформации	Экологичность
Минеральная вата	--	+	-	+	--	--	-
Пенополиуретан	-	++	++	+	--	+	+
Пенополистирол	-	++	+	-	+	-	+
Дерево	-	+	++	--	-	++	++
Каучук	+	+	-	+	+	--	+
ИЗОЛОН НПЭ с несшитой структурой ячеек	+	+	-	--	+	--	+
ИЗОЛОН ППЭ физически сшитый пенополиэтилен	+	++	+	++	++	++	+

### 2.3.4 Пенотерм НПП ЛП

Материал Пенотерм® НПП ЛП (рисунок 2.1) является отражающей теплоизоляцией. В качестве отражающего элемента (теплового зеркала) используется металлизированная лавсановая пленка. Металлизированное лавсановое покрытие равномерно распределяет тепло по всей площади пола и не подвергается воздействию агрессивной среды цементного раствора, как алюминиевая фольга. Недостатком материалов с лавсановой пленкой является то, что они не относятся к классу отражающей изоляции, так как не отражают инфракрасное (тепловое) излучение. Для того, чтобы осуществить отражение в инфракрасном спектре нужна фольга сравнительно толстая, а тонкое напыление в 20...30 ангстрем способно лишь отражать видимую часть спектра, т.е. "блестеть". Общая эффективность теплоизоляционной системы с применением отражающей изоляции (в зависимости от конкретных условий, времени года и т.д.) повышается на 20...70%, создавая «эффект термоса».



Рисунок 2.1 Вид рулона материала Пенотерм НПП ЛП

В качестве основы используются вспененный полипропилен. В отличие от пенополиэтилена пенополипропилен значительно лучше противодействует сжимающим и растягивающим усилиям. Обладая более равномерным распре-

делением пор в объеме, он менее подвержен водопоглощению и обладает меньшим (т.е. лучшим) коэффициентом теплопроводности (~ на 30%). Однако самым серьезным отличием является то, что температура применения у пенополиэтилена не более +80 °С, а у пенополипропилена - +150 °С. Материал обладает повышенной упругостью и прочностью.

Поверхность «тёплого пола», где используется материал Пенотерм® НПП ЛП в качестве отражающей основы, нагревается быстрее на 15...20 %. Происходит это за счет того, что увеличивается теплосоппротивление всей системы и значительно сокращаются теплопотери в нижние слои или помещения.

При использовании теплоизоляции Пенотерм® НПП ЛП на 15 % увеличивается теплоотдача с поверхности «тёплого пола». Это происходит благодаря более равномерному распределению тепла и использованию высококачественной металлизированной пленки. Исследования НИИ СтройФизика (Москва) показали, что равномерность нагрева пола, в сравнении с другими материалами, увеличивается на 70 %.

Рекомендуемая толщина теплоизоляции из пенотерма НПП ЛП для "теплого пола" составляет 3 мм. Физико-механические характеристики пенотерма приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 Физико-механические характеристики пенотерма

Наименование, ед. изм.	Значение
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	40
Коэффициент теплопроводности, Вт/м <sup>2</sup> К	0,0344
Коэффициент теплового отражения, %	97
Коэффициент паропроницаемости	0,001
Температура применения °С	-60...+150
Коэффициент теплового сопротивления	от 0,55...1,5
Относительная остаточная деформация, %	от 1...17
Шумоизоляция, дБ	20...22

### 2.3.5 Экструзионный пенополистирол «Пеноплекс».

Современные методы позволяют получить теплоизоляционные материалы с равномерной структурой, состоящий из мелких, полностью закрытых ячеек с размерами 0,1...0,2 мм. Материал получают путем смешивания гранул полистирола при повышенной температуре и давлении с введением вспенивающего агента и последующим выдавливанием из экструдера.

Благодаря своей структуре плиты «Пеноплекс» (рисунок 2.2) обладают стабильными теплотехническими показателями и необычайно высокой прочностью на сжатие.



Рисунок 2.2 Пеноплекс

Основные свойства теплоизоляционных плит «Пеноплекс»: низкая теплопроводность; отсутствие водопоглощения; низкая паропроницаемость; высокая прочность на сжатие; стойкость к горению; экологическая чистота и устойчивость к биологическому разложению; простота и удобство применения; долговечность.

Коэффициент теплопроводности плит 0,028...0,03 Вт/(м°С), что значительно ниже средних значений для большинства других изоляционных материалов. Малое водопоглощение материала обеспечивает незначительное изме-

нение теплопроводности во влажных условиях и может варьироваться в пределах 0,001...0,003 Вт/(м°С). Это позволяет применять плиты "Пеноплекс" в конструкциях полов, кровель, фундаментов и подвалов без дополнительной гидроизоляции. В таблице 2.3 приведена сравнительная характеристика теплоизоляционных материалов при одинаковом сопротивлении теплопередаче.

Таблица 2.3 Сравнение толщин различных материалов при одинаковом сопротивлении теплопередаче

Материал	Толщина, мм
Пеноплекс	20
Пенопласт	30
Минеральная вата	38
Дерево	250
Ячеистый бетон	270
Кирпичная кладка	370

Плиты «Пеноплекс 45» применяют для устройства теплоизоляционных слоев в конструкциях взлетно-посадочных полос, автомобильных и железных дорог на вечномерзлых и пучинистых грунтах, а также для теплоизоляции высоконагруженных полов, фундаментов, цокольных этажей, эксплуатируемых кровель, доступных автотранспорту. При распределенной нагрузке до 50 тонн на 1 м<sup>2</sup> материал не разрушается и его деформация по толщине составляет не более 10%.

Теплоизоляционные плиты "Пеноплекс" выпускаются шириной 600 мм и толщиной от 23...100 мм, стандартная длина плит - 35...1200 мм. Плиты «Пеноплекс 45» выпускаются длиной 2400 мм, 4000 мм и 4500 мм. Эксплуатировать теплоизоляционные плиты "Пеноплекс" рекомендуется в диапазоне температур от -50...+75 °С. В этом температурном режиме все физические и тепло-технические характеристики материала остаются неизменными.

Экструзионный пенополистирол «Пеноплекс» не подвержен биологическому разложению в условиях окружающей среды и не представляет опасности для экологии и здоровья людей. На основании изложенного "Пеноплекс" рекомендуется применять в системах электрообогрева в парниках и теплицах.

## **2.4 Электрооборудование систем электрообогрева**

К электрооборудованию систем электрообогрева относятся:

### **1) Датчики и регуляторы температуры**

Управление электрообогревом в кабельных системах осуществляется с помощью автоматических терморегуляторов, обеспечивающих точное и наиболее оптимальное регулирование температуры, как для создания комфорта, так и для экономии электроэнергии.

Терморегуляторы используются в системах «теплый пол» для полного отопления и комфортного подогрева пола, в системах антиобледенения кровли и водостоков, в системах обогрева наружных площадей, зимних садов, теплиц, в системах предотвращения замерзания резервуаров, труб и трубопроводов.

Питание нагревательного кабеля от сети (включение и отключение) осуществляется только через контактную систему регулятора. В кабельной системе обогрева, в зависимости от того каким является электрообогрев помещения, «основным» или «комфортным», в комплекте с соответствующими датчиками могут применяться:

- датчик температуры воздуха - в терморегуляторах со встроенным датчиком температуры воздуха (рисунок 2.3), предназначенных для систем полного отопления помещений, в нашем климатическом поясе для переходных периодов - весна, осень;

- датчик температуры пола - в терморегуляторах с выносным датчиком температуры (рисунок 2.3), предназначены для комфортного подогрева пола;



а



б

Рисунок 2.3 Терморегуляторы с датчиками температуры: а – воздуха;  
б - пола

- датчик температуры пола/воздуха – в терморегуляторах с датчиком температуры пола/воздуха (рисунок 2.4), предназначены для систем полного отопления, где напольное покрытие обладает низкой теплопроводностью, например ковровлин с большим ворсом, паркет, линолеум с толстой подосновой.



Рисунок 2.4 Терморегулятор с датчиком температур пола/воздуха

В качестве выносного датчика температуры пола обычно используют терморезистор. Основные свойства и параметры терморезисторов рассмотрены в [8].

При установке системы электрообогрева в помещениях с повышенной влажностью терморегулятор необходимо выносить за пределы помещения и устанавливать в местах, исключающих попадание внутрь влаги. При выборе терморегулятора следует учитывать также его коммутирующую способность. При необходимости питание нагревательных кабелей большей мощности можно осуществлять через управляемые регулятором магнитные пускатели (контакторы).

Регулятор со встроенным датчиком температуры воздуха необходимо устанавливать непосредственно в обогреваемом помещении на высоте 1,5 м от поверхности пола в местах, не подверженных воздействию сквозняков, солнечных лучей и вдали от других источников тепла. Вентиляционные пазы должны находиться сверху и снизу регулятора.

В случаях, когда датчик представляет собой не терморезистор, а выполнен в виде заполненного жидкостью термобаллона, он должен соединяться с терморегулятором при помощи металлической капиллярной трубки. Датчики, предназначенные для наружных установок, должны выдерживать низкую температуру и не повреждаться при температуре  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Диапазон температур в наружных установках отличается от внутренних и должен согласовываться в каждом конкретном случае с поставщиком, в зависимости от назначения установки распределенного электрообогрева. С ним же следует согласовывать технические требования к датчику, в том числе по исполнению и степени защиты.

Регулятор с датчиком температуры пола устанавливается в любом удобном месте. Провод датчика температуры пола можно нарастить до 50 метров аналогичным по устройству кабелем.

Возможно использование программируемых регуляторов, включающих термореле с часовым механизмом, что позволяет заранее задавать требуемый, изменяющийся в течение дня или в течение недели, температурный режим без вмешательства извне. Общий вид программируемого регулятора приведен на рисунке 2.5.

Применение данных терморегуляторов повышает комфортность и способствует экономии электроэнергии.

При монтаже подключение нагревательного кабеля к сети необходимо осуществлять только через терморегулятор по прилагаемой к нему электрической схеме.



Рисунок 2.5 Программируемый термостат Easy Control F18c

Датчик температуры закладывается внутрь гофрированной трубки. Применение гофрированной трубки позволяет заменять датчик в случае выхода его из строя. Датчик температуры пола рекомендуется устанавливать в верхней части вертикального сечения бетонной стяжки, что повышает точность измерения температуры пола.

Подключение к сети кабельной системы электрообогрева теплый пол должно производиться квалифицированным электриком.

Терморегулятор рекомендуется устанавливать вблизи имеющейся электропроводки, если не требуется монтаж специальной проводки для подключения кабельной системы. При подводе питания к регулятору необходимо учитывать значение предельного тока нагрузки для стандартной электропроводки. Тип регулятора следует выбирать в зависимости от максимальной суммарной мощности электронагревательных секций.

На современном этапе производством терморегуляторов занимаются как зарубежные производители, так и отечественные. На профессиональном уровне лидирующий рейтинг занимают: терморегуляторы THERMOREG фирмы OJ Electronics (Дания); специальные терморегуляторы для кабельных систем отопления и обогрева THERMO (Швеция); терморегуляторы для всех видов элек-

тронагревательных установок фирма DEVI (Дания); немецкой компании RAYCHEM; российского предприятия ООО «Специальные системы и технологии».

Российское предприятие ООО «Специальные системы и технологии» имеет многолетний опыт на рынке систем электрического обогрева. Приборы, выпускаемые этой фирмой предназначены для управления тепловыми процессами в различных областях деятельности. Приборы идеально подходят как для бытового применения, так и для управления сложными тепловыми процессами в промышленности.

Терморегуляторы из серии бытовых термостатов «Roomstat», показан на рисунке 2.6. Предназначена для управления системами электрического обогрева, такими как: теплые полы, теплые маты, электрические конвекторы – с целью поддержания заданной фиксированной температуры в пределах от +5...+45 °С. Управление нагрузкой происходит с помощью встроенного реле с максимальным током 16А.



Рисунок 2.6 Терморегулятор серии «Roomstat»

В состав серии приборов под общим названием "Roomstat" входят термостаты с различными потребительскими свойствами, позволяющими потребителю подобрать максимально устраивающий его вариант.

Приборы серии «Roomstat» выпускаются в 2-х цветовых гаммах (белый, кремовый), с различными способами установки (как для скрытой проводки, так и для открытой, в корпусе для крепления на DIN–рейку), с управлением как по датчику температуры пола, так и по встроенному датчику температуры воздуха, с различным дизайном и эргономическим решением органов управления.

Преимущества терморегуляторов серии «roomstat»:

- современный эргономичный дизайн: регуляторы предназначены для заглубленного монтажа, размещены в эстетичном корпусе различных исполнений и имеют привлекательный вид для размещения в любом интерьере, расширенная цветовая гамма;

- удобство пользования: регуляторы оснащены световой индикацией включенного состояния системы обогрева, снабжены ручкой плавной регулировки температуры и шкалой условных значений задаваемой температуры, обеспечивают легкость в управлении "в одно касание";

- обеспечение экономии электроэнергии: регуляторы автоматически включают и отключают систему отопления, реагируя на сигналы термодатчика, это позволяет расходовать электроэнергии ровно столько, сколько ее необходимо для поддержания заданной температуры в помещении;

- надежность: при изготовлении термостатов используются самые современные технологии, исключающие возможность появления дефектов, высочайшая надежность, подкрепленная многолетним опытом выпуска и эксплуатации.

Технические характеристики терморегуляторов серии «Roomstat» представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 Технические характеристики терморегуляторов серии «Roomstat»

Технические характеристики	Значения
1	2
Пределы чувствительности датчика температуры, °С	от –20...+ 80

Электропитание	~ 220 +10% /-15% В 50 Гц
Максимально допустимый ток нагрузки через контакты реле, А	16

Продолжение таблицы 2.4

1	2
Номинальная потребляемая мощность, Вт	не более 0,5
Сечение клеммных контактов, мм <sup>2</sup>	2,5
Установленная безотказная наработка, час	4000
Полный средний срок службы, лет	не менее 6
Масса, г	170
Габариты, мм	82 x 82 x 57

Терморегуляторы серии «Roomstat» предназначены для встраиваемого монтажа в стену в стандартную распаечную коробку. Порядок монтажа указан в паспорте изделия. Схема подключения указана на рисунке 2.7.

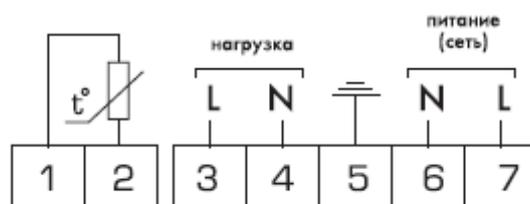


Рисунок 2.7 Схема подключения терморегулятора

Кроме того, для обеспечения возможности накладного монтажа (для открытой проводки или в случае, когда нет возможности сделать в стене необходимое отверстие), для термостатов «Roomstat 210» и «Roomstat 230» выпускается дополнительный корпус для внешнего монтажа, позволяющий установить термостат на стену накладным способом.

Датчик температуры пола размещается в полу, в гофротрубе, внутри бетонной стяжки между витками нагревательного кабеля на расстоянии равноудаленном от витков нагревательного кабеля.

Терморегулятор I-WARM 710, показан на рисунке 2.8. Комнатный терморегулятор с 2-мя датчиками температуры: выносным датчиком температуры пола и встроенным датчиком температуры воздуха.



Рисунок 2.8 Терморегулятор I-WARM 710

Предназначен для встроенного монтажа. Обеспечивает поддержание заданной температуры по датчику температуры пола. Большой графический дисплей с подсветкой и 3-мя кнопками управления. Индикация текущей температуры пола, заданной температуры регулирования, включенного и выключенного состояния обогрева. Самодиагностика системы обогрева с выводом предупреждающей информации. Дополнительный режим, позволяет выводить на дисплей температуру окружающего воздуха (при этом управление обогревом происходит по датчику пола). Дополнительный режим управления обогревом без измерения температуры за единицу времени берется 1 час. Позволяет экономить не менее 30% электроэнергии.

Терморегулятор I-WARM 720. Внешний вид терморегулятора показан на рисунке 2.9. Комнатный терморегулятор с выносным датчиком температуры пола. Предназначен для встроенного монтажа. Прибор позволяет значительно снизить энергопотребление теплых полов, путем поддержания комфортной температуры только в установленные временные интервалы и только тогда, когда в этом есть необходимость. Большой графический дисплей с подсветкой и 3-мя кнопками управления. Наличие встроенного меню, позволяющего управлять всеми.



Рисунок 2.9 Терморегулятор I-WARM 720

Встроенный экономайзер. Прибор собирает и хранит всю информацию о системе обогрева, позволяющую пользователю контролировать систему электрообогрева.

«Интеллектуальное» программное обеспечение позволяет пользователю указывать временные интервалы, когда ему необходим обогрев. Дополнительные функции: часы и календарь.

Позволяет реализовать следующие способы управления:

- постоянное поддержание комфортной температуры;
- суточный цикл распределения комфортной температуры по времени.

Терморегуляторы, компании OJ Electronics (Дания), серии THERMOREG PRO - высокотехнологичный терморегулятор для кабельных систем «теплый пол»: полного отопления и комфортного подогрева пола. Используются в жилых помещениях с нормальным уровнем влажности и запыленности. Рекомендуются для управления системами электрообогрева для создания оптимального теплового комфорта при минимальных энергозатратах. Допускается установка в душевых и ваннных комнатах.

Преимущества:

- интеллектуальный таймер и самообучающийся терморегулятор размещены в одном корпусе;
- гибкая адаптивная логика: в зависимости от условий автоматически изменяется время включения нагрева системы для получения заданной темпера-

туры в установленное время;

- установка 4 режимов (событий) на каждый день с различной температурой: ночь, пробуждение, дома, вне дома;

- мониторинг потребления энергии;

- определение суммарного времени работы системы в процентах за последние 2 дня, 30 дней или 365 дней;

- расчет стоимости электроэнергии в день;

- может работать с любым типом датчика как обычный терморегулятор, а может функционировать как часть полностью автоматизированной гибкой системы управления отоплением;

- встроенный источник питания, обеспечивающий сохранение информации при отключении питания в течение 50 часов;

- автоматическая защита помещения от замерзания;

- выдерживает нагрузку до 3,6 кВт;

- отключение в случае короткого замыкания;

- встроенная система «сообщений об ошибках»;

- жидкокристаллический дисплей;

- максимальный ток 16 А;

- установка в монтажной коробке на стену заподлицо;

- наклонный дисплей с подсветкой для более удобного считывания информации;

- совместимость с различными типами выключателей;

- напряжение ~190...250 В;

- диапазон температур от 5...40 °С.

Терморегуляторы серии THERMOREG PRO имеют заводские установки режима, времени работы, температуры, оптимальные в данный период времени, представленные в таблице 2.5.

Таблица 2.5 Заводские установки программ терморегуляторы серии  
THERMOREG PRO

Режим	Время, ч	Температура, °С
1	06:00 - 08:00	Комфортная 25
2	08:00 - 16:00	Пониженная 20
3	16:00 - 22:30	Комфортная 27
4	22:30 - 06:00	Пониженная 20

Стоимость отечественных терморегуляторов намного меньше зарубежных и колеблется от 10 у.е. и выше, соответственно зарубежных – от 40 у.е. и выше.

2) Устройства защитного отключения с автоматическим выключателем.

Устройство защитного отключения (УЗО) - коммутационный аппарат или совокупность элементов, которые при достижении (превышении) дифференциальным током заданного значения, при определенных условиях эксплуатации, вызывают размыкание контактов.

УЗО необходимо обязательно использовать, когда система электрообогрева монтируется во влажных помещениях (ванная, бассейн, сауны). Номинальный ток срабатывания УЗО в системах электрообогрева должен составлять не более 30 мА [10]. Этот небольшой прибор монтируется на DIN-рейку.

В зоне действия УЗО нулевой рабочий проводник не должен иметь соединений с заземленными элементами и нулевым защитным проводником.

Подключение электронагревательного кабеля производится на отдельную линию. Для защиты от поражения электрическим током подключение нагревательного кабеля производят через УЗО, представляющее собой аппарат, комбинированный с автоматическим выключателем, например УЗО-ВАД2 (рисунок 2.10).

УЗО данной серии обладает повышенной способностью включения и отключения тока нагрузки и дифференциального тока, техническая характеристика представлена в таблице 2.6.

Оптимальная компоновка устройства обеспечивает подключение питающей сети к верхним зажимам УЗО, а нагрузки — к нижним.



Рисунок 2.10 Общий вид УЗО-ВАД2

Таблица 2.6 Техническая характеристика УЗО-ВАД2

Наименование	Значения
Номинальное напряжение сети, В	220
Номинальная частота, Гц	50
Количество полюсов	2
Номинальный ток, А	10, 16, 25, 32, 40, 50, 63
Номинальный отключающий дифференциальный ток, мА	10, 30, 100
Время отключения при двойном значении номинального отключающего дифференциального тока, не более, с	0,04
Максимальное сечение подключаемых проводников, мм <sup>2</sup>	25
Габаритные размеры, мм	100x71,5x76
Масса, не более, кг	0,38
Гарантийный срок эксплуатации, лет	10

УЗО-ВАД2 обеспечивает отключение как при синусоидальном переменном, так и при постоянном пульсирующем дифференциальном токе.

Имеет встроенную защиту от сверхтоков, обеспечивающую автоматическое отключение устройства при перегрузках  $1,45 I_n$  в течение 1 часа и при токах короткого замыкания  $10 I_n$  в течение 0,1 с. Работоспособно при предельном диапазоне фазных напряжений питающей сети от 110...264 В.

Допускается диапазон рабочих температур от  $-45...+55$  °С.

Не теряет чувствительности при повторном заземлении нулевого рабочего проводника. Позволяет подсоединять как медные, так и алюминиевые проводники, обладает устойчивостью к электромагнитным воздействиям.

Ограничивает грозовые и коммутационные импульсные напряжения на уровне не выше 2000 В при импульсах тока до 4500 А. Имеет световую индикацию наличия напряжения в питающей сети, встроенную температурную защиту. Устройство отключает защищаемую линию от питающей сети при достижении температуры  $100^{+10}$  °С в зоне УЗО.

Имеет защиту от временных перенапряжений. При повышении напряжения в сети до величины уставки срабатывания (от 265...320 В) происходит отключение устройства.

До настоящего времени в жилых зданиях применяется система заземления типа TN-C, в которой открытые проводящие части электроустановки (корпуса, кожухи электрооборудования) соединены с заземленной нейтралью источника совмещенным нулевым защитным и рабочим проводником PEN, т.е. «занулены». Эта система относительно простая и дешевая. Однако по современным требованиям она не обеспечивает необходимый уровень электробезопасности. Поэтому в новых разработках рекомендовано применять системы типа TN-C-S.

В системе TN-C-S нулевой защитный проводник PE соединен со всеми открытыми проводящими частями и может быть многократно заземлен, в то время как нулевой рабочий проводник N не должен иметь соединения с землей.

Системы TN-S широко применяются в европейских странах. В системе TN-S все открытые проводящие части электроустановки здания соединены отдельным нулевым защитным проводником РЕ непосредственно с заземляющим устройством источника питания.

При монтаже систем заземления в теплице возможно применение систем заземления типа TN-C-S и TN-S. При обязательном подключении через УЗО, так как электробезопасность потребителя обеспечивается не собственно системами заземления, а устройствами защитного отключения, действующими более эффективно в комплексе с системами заземления.

## **3 МОНТАЖ СИСТЕМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА**

Имеются различия в технологии монтажа систем электрообогрева бытовых и производственных помещений, а также помещений сельскохозяйственного назначения. Однако имеются и общие аспекты технологии монтажа, которые нормируются ГОСТ Р 50571.25-2001 [14].

### **3.1 Монтаж систем электрообогрева жилых, бытовых и производственных помещений**

#### **3.1.1 Подготовка поверхности для монтажа**

Перед укладкой в пол электронагревательных секций обычного исполнения на бетонные плиты или цементно-песчаную стяжку поверхность укладки должна быть очищена от различного мусора, грязи и краски. При необходимости выравнивания выполняют выравнивающую стяжку. После очистки поверхность основания следует высушить, очистить от пыли и, при необходимости, выровнять строительным раствором. Отклонение от плоскостности свыше 5 мм не допускается.

Для уменьшения тепловых потерь через нижние слои пола электронагревательные секции следует укладывать на поверхность, содержащую теплоизолирующий слой из негорючего материала. Такой слой должен обладать достаточной жесткостью, теплопроводность его не должна превышать  $0,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , он не должен терять своей жесткости и теплопроводных свойств при температурах до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Чтобы исключить контакт электронагревательной секции с теплоизоляцией, что особенно важно для кабельных электронагревательных секций, поскольку контакт кабеля с теплоизоляцией может привести к его перегреву, поверх теплоизоляции необходимо установить несгораемый слой, например тонкую цементную стяжку толщиной 5...10 мм, такой же толщины гипсовую плиту или металлическую фольгу. Металлическая фольга обладает теплоотражаю-

щими свойствами и применяется для улучшения тепловых параметров теплоизоляционного слоя. Если утеплителем служит пробка, то прокладка металлической фольги поверх такого утеплителя обязательна.

Допускается укладка кабеля без бетонной стяжки прямо на теплоизоляцию, покрытую алюминиевой фольгой, если покрытие пола будет выполнено из плитки или камня.

### 3.1.2 Монтаж нагревательных секций

Для электроустановок всех видов, удовлетворяющих настоящему стандарту, должны соблюдаться следующие основные правила:

- не допускается касание и пересечение рядов кабеля в одной плоскости;
- греющая часть кабеля, включая соединительную муфту, должна по всей длине находиться в материале с одинаковыми показателями теплопроводности.

Во время монтажа кабельных электронагревательных секций с экранированным кабелем или с повивом брони необходимо строго следить за тем, чтобы не перепутать монтажные концы, идущие к нагревательным жилам, с монтажными концами, идущими к металлической оплетке кабеля или его броне.

При укладке кабельных электронагревательных секций не в слой бетона или бетонной стяжки, а, например, в зазор между черновым и чистовым деревянным полом должны применяться секции с уменьшенной линейной мощностью тепловыделения, значение которой должно выбираться из таблицы 3.1 по критериям, указанным фирмой — изготовителем электронагревательных секций.

Таблица 3.1 Параметры экранированных электронагревательных секций для укладки под деревянные полы (напряжение 220 В)

Цвет оболочки	Мощность, Вт	Пусковой ток, А	Длина, м	Линейная мощность, Вт/м
1	2	3	4	5
Серый	150	0,68	16	9,4
Желтый	260	1,20	26	10,0
Голубой	410	1,90	42	9,8
Коричневый	580	2,60	58	10,0

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5
Зеленый	670	3,00	68	9,8
Розовый	880	4,00	90	9,8
Синий	1060	4,80	106	10,0
Светло-желтый	1270	5,80	127	10,0

При укладке кабельных электронагревательных секций в бетон или в цементно-песчаную стяжку непосредственно в бетоне (стяжке) должен находиться весь кабель с концевыми и соединительными муфтами, а монтажные концы должны быть выведены к регулятору температуры или в распаечную коробку.

Укладку нагревательного кабеля на основание следует производить в форме змеевика. Шаг укладки нагревательного кабеля  $H$ , зависит от площади пола и длины секции, вычисляют по формуле [14].

$$H = \frac{S}{l}, \quad (3.1)$$

где  $S$  — площадь пола, м<sup>2</sup>;

$l$  — длина секции, м.

Для равномерной укладки на подготовленную поверхность пола нагревательного кабеля следует пользоваться монтажной лентой. Ленту нужно проложить на поверхности вдоль противоположных стен и закрепить гвоздями, дюбелями, саморезами. Концы петель нагревательного кабеля должны быть закреплены монтажной лентой с помощью имеющихся на ней специальных язычков, как это показано на рисунке 3.1. Для помещений и объектов площадью более 5 м<sup>2</sup> ленту следует проложить в промежуточных местах. Допустимое отклонение шага от расчетного не более  $\pm 10$  мм. Недопустимо сближение уложенных витков кабеля на расстояние менее 80 мм.



Рисунок 3.1 Закрепление кабеля на монтажной ленте

### 3.1.3 Цементно-песчаная стяжка.

Раствор, которым будет заливаться кабельная электронагревательная секция, не должен содержать щебня и других включений с острыми краями, способными повредить его оболочку. Консистенция раствора должна быть такова, чтобы исключить образование воздушных полостей и пустот около электронагревательного кабеля и локальные перегревы кабеля возле этих пустот. Для изготовления раствора следует использовать бетон только высоких марок (не ниже М150) со щебнем мелкой фракции (крупностью не более 10 мм), также, по рекомендации специалистов, с добавлением 1 кг ПВА на 1 мешок смеси.

Перед заливкой бетонным раствором уложенного и закрепленного на монтажной ленте нагревательного кабеля необходимо сделать технологические отверстия в теплоизоляционном слое размером 10×15 см через 30...40 см, для схватывания стяжки с основанием. Рекомендуется дополнительно зафиксировать электронагревательный кабель небольшими порциями раствора высотой 10...12 мм, распределенного с небольшими интервалами вдоль кабеля. Это позволит избежать перемещения кабеля при заливке бетонным раствором. Толщина бетонной стяжки над кабельной электронагревательной секцией должна быть в пределах 2...5 см. На объектах, в которых монтажная лента проложена в промежуточных местах, закрепление ветвей нагревательного кабеля должно осуществляться только язычками на монтажной ленте.

### 3.1.4 Установка датчика температуры и терморегулятора.

При монтаже датчика температуры его следует поместить в пластмассовую трубку диаметром 12...16 мм, плотно закрытую с одного конца термоуса-

живающейся трубки имеют хорошие электрические и механические параметры и не поддерживают горение.

Надетые в растянутом состоянии на различные изделия, при подогреве, они сокращаются и принимают первоначальные размеры, обтягивая данные изделия, принимая его наружные формы. Усадка до диаметра, обеспечивающего полное обжатие изделия, происходит в результате нагрева термоусаживающейся трубки горячим воздухом или открытым пламенем газовой горелки до температуры  $120^{\circ}\text{C} \dots 180^{\circ}\text{C}$  не более 15 минут. Такой способ монтажа применяется, чтобы можно было при необходимости заменить датчик, не вскрывая пол.

Трубку с датчиком следует надежно прикрепить к полу между нагревательными кабелями на равном расстоянии от них. Расстояние от стены до конца трубки (до места установки датчика)  $50 \dots 60$  см. Второй конец трубки может заканчиваться у стены, регулятора температуры или распаечной коробки, как это показано на рисунке 3.2 Радиус изгиба трубки должен быть не менее 5 см.

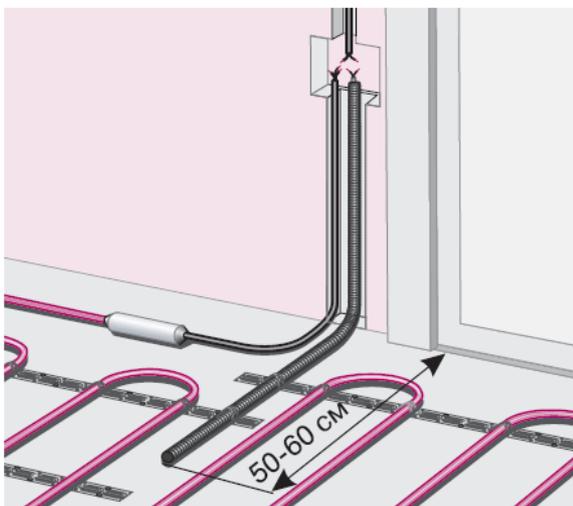


Рисунок 3.2 Установка датчика температуры и терморегулятора

### 3.1.5 Приемка и включение в эксплуатацию системы.

Приемка работ по укладке нагревательного кабеля и монтажу датчика температуры должна быть перед выполнением защитного покрытия (например, перед заливкой бетонной стяжки) освидетельствована оформлением акта на скрытые работы.

В жилых помещениях регулятор температуры рекомендуется устанавливать вблизи имеющейся проводки, если по условию установленной мощности не требуется прокладка специальной проводки для системы распределенного электрообогрева. Его следует устанавливать на стене в наиболее удобном для пользователя месте (рядом с выключателями освещения или розетками) с тем, чтобы не мешать расстановке мебели. Регулятор устанавливают так же, как электрическую розетку для скрытой проводки. В помещениях других типов с электрообогревом полов терморегулятор рекомендуется устанавливать на высоте 0,5...1,5 м от поверхности пола.

При невозможности размещения терморегулятора в обогреваемом помещении допускается его установка в ином отапливаемом помещении при условии применения датчика температуры выносного исполнения.

Если корпус терморегулятора имеет вентиляционные пазы, то его следует устанавливать так, чтобы пазы находились снизу и сверху. Не допускается установка терморегулятора в местах, подверженных действию сквозняков, солнечных лучей, или вблизи источников тепла.

Общий вид смонтированной системы электрообогрева показан на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 Система электрообогрева после монтажа

Включать смонтированную установку в сеть разрешается только после полного затвердевания бетона. Согласно действующим строительным нормам и правилам время полного затвердевания бетона — 28 суток.

Технология монтажа теплого пола на основе нагревательных матов имеет некоторые особенности по сравнению с приведенной выше. Видеоинструкция по монтажу теплого пола на основе нагревательных матов приведена в [5].

Вновь смонтированная установка распределенного электрообогрева должна быть подвергнута приемосдаточным испытаниям. Приемосдаточные испытания должны включать визуальный осмотр установки, проведение необходимых измерений и оформление выполненного осмотра и проведенных измерений протоколами утвержденной формы.

При проведении визуального осмотра необходимо убедиться в отсутствии повреждений элементов установки, в правильности их монтажа и установки в целом, а также в правильности подключения к источнику питания.

При невозможности осмотра каких-либо элементов установки заключение должно быть сделано по результатам проверки наличия и правильности оформления актов на скрытые работы.

### **3.2 Монтаж систем электрообогрева теплиц**

Для ускорения роста и репродукции растений в оранжереях и теплицах, почву можно подогревать с начала весны. Таким образом, ускоряется произрастание семян, продлевается период урожая и появляется возможность выращивать теплолюбивые растения, обычно растущие только в субтропических и тропических широтах.

Мощность системы зависит от глубины залегания кабеля и должна составлять от 50...100 Вт/м<sup>2</sup>.

Существует два варианта установки системы для подогрева грунта:

- установка в бетонную стяжку с последующим насыпанием грунта;
- закладка кабеля непосредственно в почву.

### 3.2.1 Установка в бетонную стяжку с последующим насыпанием грунта

При установке кабеля в бетонную стяжку уменьшается вероятность повреждения кабеля при обработке почвы различными инструментами и химическими материалами. Также увеличивается коэффициент теплоотдачи за счет большей плотности и однородности стяжки по сравнению с грунтом.

Укладку кабеля, не посредственно в почву, производят в специально подготовленных траншеях. Глубина траншеи составляет обычно не менее 30 см, т. е. при рытье траншеи, для закладки кабеля, снимают верхний плодородный слой почвы. Ширина траншеи зависит от желаемой зоны обогрева почвы и удобства обслуживания посаженных саженцев, и лежит в пределах 50...60 см, в зависимости от размеров теплицы.

Для уменьшения тепловых потерь, в нижний слой почвы, на дно каждой траншеи засыпаем мелкий песок, делая песчаное основание, и выравниваем поверхность, как показано на рисунке 3.4. Толщина песчаного основания должна быть не меньше 5 см.



Рисунок 3.4 Укладка песчаного основания

На поверхность песчаного основания укладываем слой теплоизоляционного материала с низким коэффициентом влагопоглощения например, вспененный полистирол или экструзионный пенополистирол "Пеноплекс". Такой слой должен обладать достаточной жесткостью, теплопроводность его не должна превышать  $0,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , он не должен терять своей жесткости и теплопроводных свойств как при отрицательных температурах, так и при температурах

до +100 °С. Пенопласт в данном случае не подходит, так как вода проникая в его ячеистую структуру, при замерзании и размораживании, нарушает структуру материала и приводит к его разрушению. Рекомендуемая толщина слоя теплоизоляционного материала не должна быть меньше 5 см.

Теплоизоляционный материал покрывают слоем песка толщиной 5 см. На песчаное основание укладываем защитную сетку. Для равномерной укладки, на защитной сетке, нагревательного кабеля используем монтажную ленту, как показано на рисунке 3.5. Ленту нужно проложить на поверхности вдоль противоположных стен и закрепить к сетке. Концы петель нагревательного кабеля должны быть закреплены на монтажной ленте с помощью имеющихся на ней специальных язычков.



Рисунок 3.5 Укладка нагревательной секции на металлической сетке

Длину кабеля  $L$  рассчитываем по формуле:

$$L = \frac{S}{H}, \quad (3.2)$$

где  $S$  – площадь теплицы,  $\text{м}^2$ ;

$H$  – расстояние между витками кабеля, м.

Укладку нагревательного кабеля следует производить в форме змеевика. Шаг укладки кабеля  $H$  должно быть не меньше 0,15 м. Допустимое отклонение шага от расчетного не более  $\pm 0,01$  м.

При монтаже датчика температуры его следует поместить в гофрированную трубку диаметром 12...16 мм, плотно закрыть с одного конца, для предотвращения попадания влаги внутрь. Трубку с датчиком следует надежно прикрепить к монтажной ленте, между витками нагревательного кабеля на равном расстоянии от них. Второй конец трубки может заканчиваться у стены, регулятора температуры или распаечной коробки.

Перед заливкой бетонным раствором рекомендуется дополнительно зафиксировать кабель небольшими порциями раствора высотой 10..12 мм, распределенного небольшими интервалами вдоль кабеля. Это позволит избежать перемещения кабеля при заливке бетонным раствором. Толщина бетонной стяжки над кабельной электронагревательной секцией должна быть не менее 3...5 см.

После этого плодородный грунт насыпают поверх бетонной стяжки.

Схема укладки кабеля непосредственно в почву при монтаже в цементно-песчаную стяжку показано на рисунке 3.6.

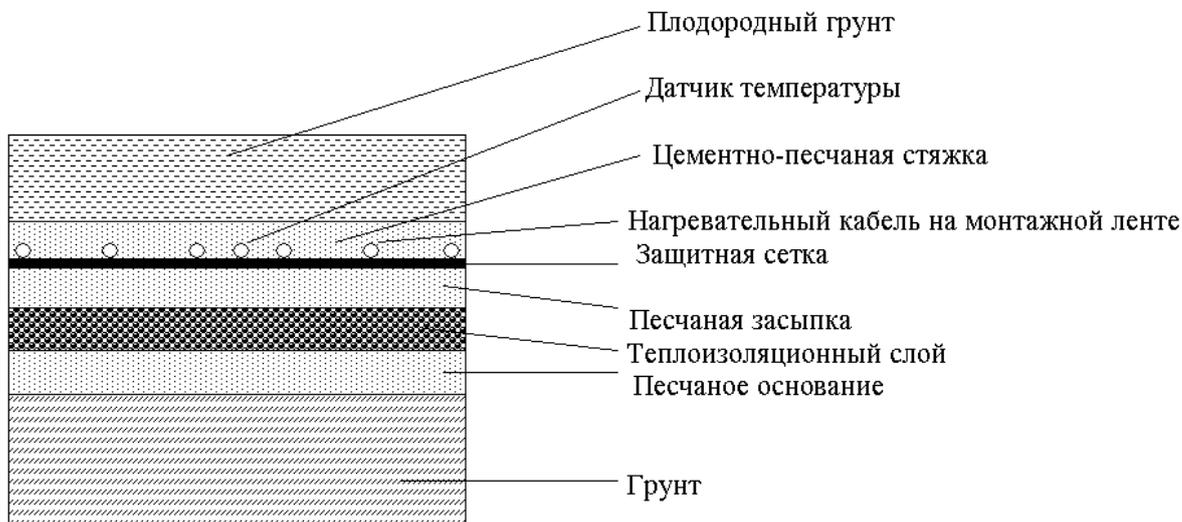


Рисунок 3.6 Схема укладки нагревательных секций в траншее при монтаже в бетонную стяжку

### 3.2.2 Закладка кабеля непосредственно в почву

Рытье траншеи, засыпку песчаного основания, укладывание теплоизоля-

ционного материала, последующей засыпки песка, укладки защитной сетки, укладки нагревательного кабеля, монтажа датчика температуры производим аналогично п. 3.2.1.

Смонтированная нагревательная секция засыпаем мелкозернистым песком, толщина слоя должна быть не меньше 5 см. Использование гравия не допускается, так как существует вероятность повреждения нагревательного кабеля при засыпке и выравнивании слоя песка.

На насыпанный слой песка укладываем металлическую сетку или мат для защиты кабеля от повреждений лопатами или другими строительными инструментами, как показано на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 Укладка металлической сетки над секциями кабеля

После этого траншею засыпают плодородным грунтом, поверхность выравнивают.

Для систем электрообогрева почвы наиболее подходящие нагревательные кабели: deviflex™ DTIP-10, DTIP-18, DSIG-20, DSOT компании DEVI (Дания), а также нагревательные кабели 20ТЛБЭ2 компании Специальные Строительные Технологии (Россия).

Для регулирования температуры почвы оранжерей используются терморегуляторы: devireg™ 330 или 610 компании DEVI, PT007L 16D компании Специальные Строительные Технологии. Оптимальная температура почвы зависит от вида растений и их возраста. Типичная температура для грунта на

уровне корней в оранжереях от  $15^{\circ}$ ... $25^{\circ}\text{C}$ ; на клумбах и рассадочных грядках - до  $30^{\circ}\text{C}$ .

Схема укладки кабеля непосредственно в почву показано на рисунке 3.8.

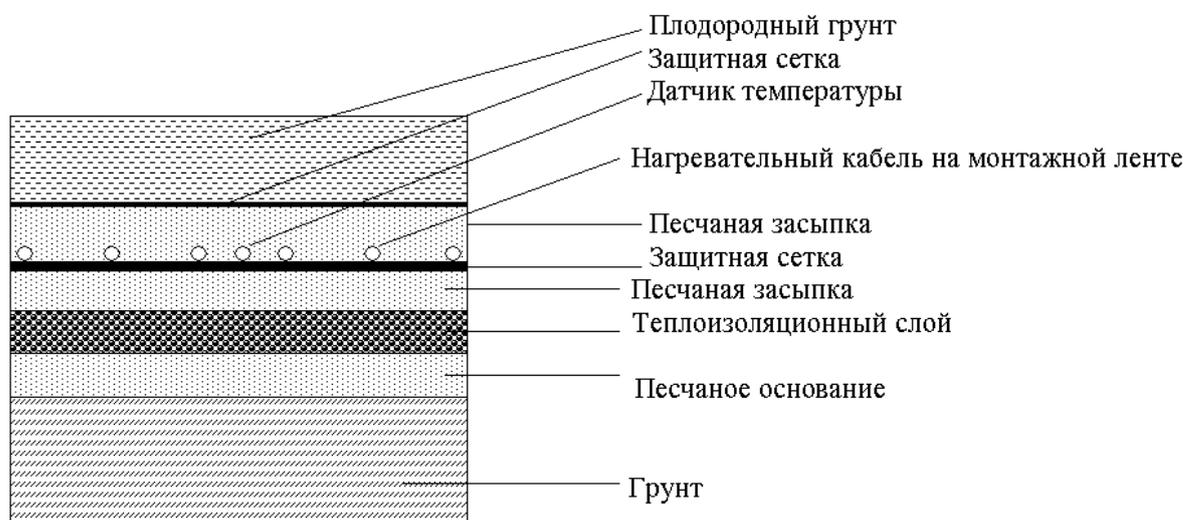


Рисунок 3.8 Схема укладки нагревательных секций в траншее при монтаже

## 4 БЛОК МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В настоящей главе приведен алгоритм, т.е. последовательность основных операций технологии монтажа электронагревательных кабелей в теплице фермерского хозяйства.

Разработка алгоритма выполнялась с учетом:

- нормативных требований раздела 1;
- технологии монтажа системы электрообогрева, приведенных в разделе 3.2.

Это необходимо для определения четкой последовательности действий при монтаже.

### **4.1 Методика и программа расчета параметров систем электрообогрева жилых, бытовых и производственных помещений**

Для расчета необходимого количества нагревательных секций и их рационального расположения внутри помещения разработана программа «Терlolux» [13].

Для работы программы необходимы следующие исходные данные:

- 1)  $S$  – общая площадь выбранного помещения,  $m^2$ .
- 2)  $S_1$  – площадь обогрева,  $m^2$ .
- 3)  $h$  - высота потолков, м.
- 4) Тип помещения (балкон, кухня, столовая, гостиная, прихожая, детская, холл, туалет, теплица).
- 5) Вид напольного покрытия: плитка, ковролин, линолеум, ламинат, паркет).
- 6) Уровень расположения помещения: первый этаж или не первый этаж.
- 7) Тип обогрева: основной или комфортный. Под основным типом обогрева понимается отсутствие возможности подключения к системе центрального отопления, и поэтому электронагревательный кабель является единственной

системой обогрева помещения. Комфортный тип обогрева означает, что в помещении есть другая, как правило, традиционная система отопления, которая не справляется с обогревом помещения, либо носит сезонный характер.

В результате работы программы определяются:

1) Вид нагревательного элемента (одножильный кабель, двухжильный, нагревательный мат).

2) Тип регулятора температуры: Roomstat 110, Iwarm 710, Iwarm 720.

3) Н - шаг укладки кабеля, см.

4) Количество монтажной ленты, для закрепления кабеля, м.

5) Количество теплоизоляционного материала, рулон. Расчет количества теплоизоляционного материала в программе производится для конкретного типа теплоизоляции – пенополистирола (ППС) толщиной 30 мм, покрытого слоем алюминиевой фольги толщиной 0,3 мм с полимерным защитным слоем. Поскольку данный материал является наиболее распространенным при монтаже систем электрообогрева помещений. Материал поставляется в рулонах с размерами 0,5×4 м.

6) Длина гофрированной трубки для датчика температуры, м. Гофрированная трубка, диаметром 12 мм, выполнена из негорючего самозатухающего материала – поливинилхлорида, который исключает возможность возгорания, от короткого замыкания, и распространения пламени по трубке.

7) Толщина слоя заливочной смеси, мм. При расчете учитывались параметры заливочной смеси на основе бетона высоких марок (не ниже М 150) или аналогичных.

Программа реализована на языке Visual FoxPro 5.0., проста и удобна в использовании, не требует специальной подготовки пользователя. Вид окна с началом работы программы приведен на рисунке 4.1.

Результатом работы программы является также рациональный план расположения секций электронагревательного кабеля в выбранном помещении.

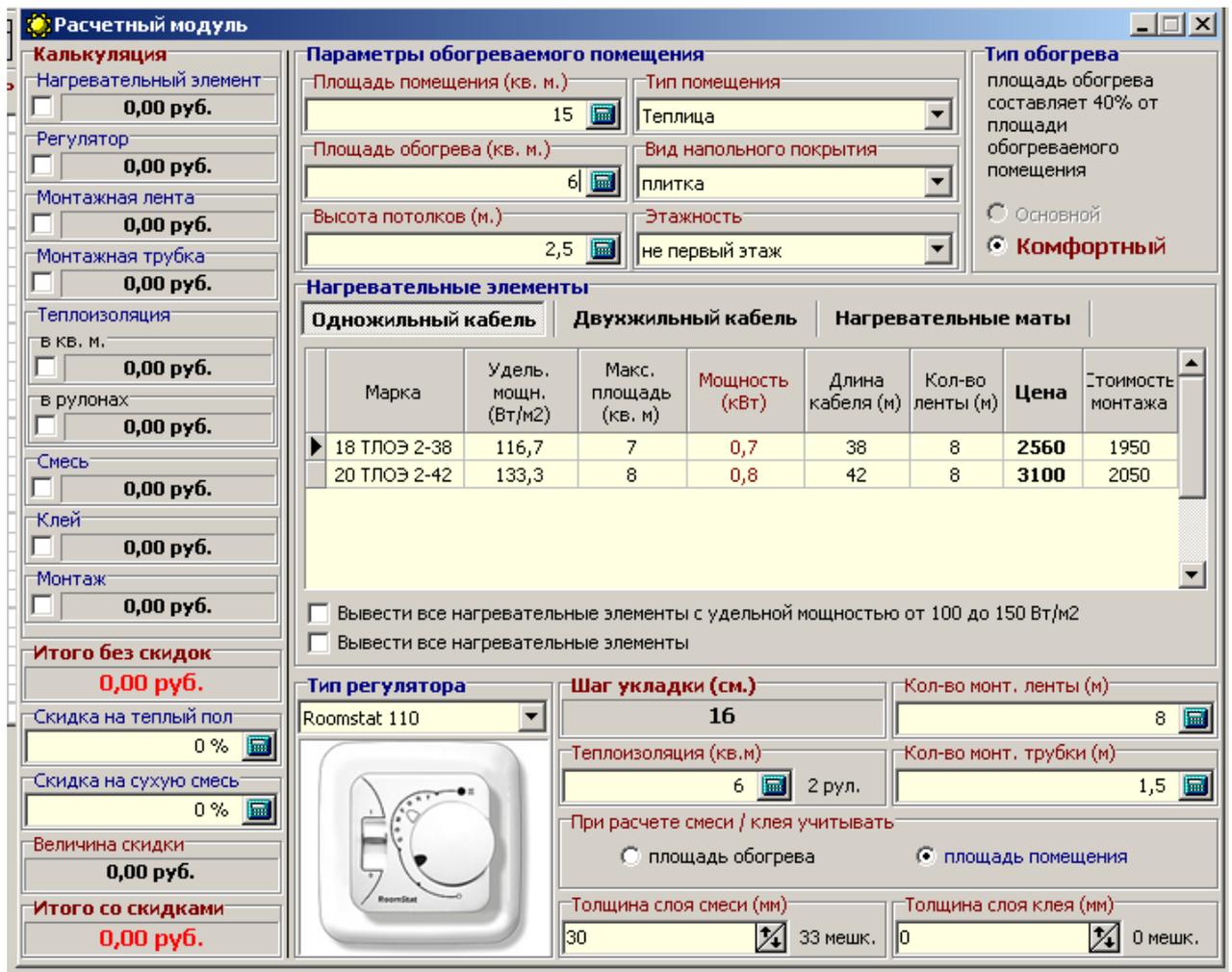


Рисунок 4.1 Вид окна с началом работы программы «Терлоlux»

Простой интерфейс программы позволяет быстро произвести необходимые расчеты.

## 4.2 Алгоритм технологии монтажа систем электрообогрева теплиц

В настоящей дипломной работе предложен алгоритм технологии монтажа систем электрообогрева теплиц, определяющий четкую последовательность действий при монтаже.

Алгоритм технологии монтажа систем электрообогрева теплиц составляется на основе нормативных требований ГОСТ и информационных сведений раздела 2.

Для рассмотрения алгоритма технологии монтажа системы электрообогрева теплицы выбрана теплица фермерского хозяйства размерами 6×4 м. Выбираем способ укладки непосредственно в почву. Общая площадь теплицы 24 м<sup>2</sup>. Полезная площадь теплицы (площадь электрообогрева), за исключением технологических проходов составляет: центральная траншея – 7 м<sup>2</sup>; две боковые траншеи - 4,2 м<sup>2</sup>, каждая. В зависимости от полезной площади по таблице [13] выбирают марку двужильного электронагревательного кабеля 20 ТЛБЭ2-42 – для центральной траншеи; 18ТЛБЭ2-23 – для боковых траншей, с удельной мощностью 100 Вт/м<sup>2</sup>.

Алгоритм технологии монтажа системы электрообогрева теплицы представляет собой последовательные действия, выполненные при монтаже системы электрообогрева теплиц с необходимым комментарием:

1) Произвести разметку расположения траншей в теплице. Длина траншеи определяется размерами теплицы и строительной длиной кабеля. Схема расположения траншей приведена на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 Схема расположения траншей в теплице

2) Удалить плодородный слой грунта толщиной 0,2 м.

3) Вырыть 3 траншеи размерами:

- центральная - 1,4×6,0×0,40 м;

- боковые - 0,7×6,0×0,40 м.

4) Дно траншеи засыпать мелким песком, толщина песчаного основания 0,05 м.

5) Уложить слой теплоизоляционного материала с низким коэффициентом влагопоглощения, например пенополистирол "Пеноплекс" толщиной 0,05 м.

6) Теплоизоляционный материал засыпать мелким песком толщиной 0,05 м.

7) На засыпанную песком теплоизоляцию уложить защитную металлическую сетку с размерами ячеек 0,1×0,1 м.

8) Прикрепить монтажную ленту к защитной металлической сетке с помощью медной или алюминиевой проволоки, или при помощи специальных язычков, имеющих на монтажной ленте. Ленту нужно проложить на поверхности поперек противоположных стен траншеи.

9) Шаг укладки нагревательного кабеля  $H$  для центральной траншеи определить по формуле:

$$H = \frac{S}{l} = \frac{7}{42} = 0,16 \text{ м},$$

где  $S$  – площадь траншеи,  $\text{м}^2$ ,

$l$  – длина нагревательного кабеля 18 ТЛБЭ 2-42, м.

Уложить нагревательный кабель с шагом  $H$  между витками 0,16 м.

Шаг укладки нагревательного кабеля  $H$  для боковых траншей:

$$H = \frac{S}{l} = \frac{4,2}{23} = 0,18 \text{ м},$$

Уложить нагревательный кабель 18ТЛБЭ2-23 с шагом  $H$  между витками 0,18 м.

10) Закрепить нагревательный кабель монтажной лентой с помощью имеющих на ней специальных язычков.

11) Вставить датчик в гофрированную трубку, плотно закрыть с одного конца, при помощи термоусадочной трубки.

12) Прикрепить датчик температуры грунта монтажной лентой между витками нагревательного кабеля, на равном расстоянии между ними:

- в центральной траншее - 0,08 м;

- в боковых траншеях - 0,09 м.

13) Смонтированную электронагревательную секцию засыпать мелким песком толщиной 0,05 м.

14) На слой песка уложить защитную металлическую сетку, с размерами ячеек 0,1×0,1 м.

15) Засыпать траншею плодородным слоем почвы толщиной 0,30 м.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аппараты защиты электрических цепей [Электронный ресурс] : технический каталог ИЭК / ГК «Интерэлектрокомплект». – Режим доступа: [https://www.es.umacsm.ru/catalog/iek/protection\\_device.pdf](https://www.es.umacsm.ru/catalog/iek/protection_device.pdf). – 14.03.2017.

2. Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 51326.1-99 (МЭК 61008-1-96). - Часть 1. Общие требования и методы испытаний. - Введен 1999-11-30; переиздан с изм. 2009-11-01/ Электронный фонд ПиНТД «Техэксперт». – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200026544>

3. Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 51327.1-2010 (МЭК 61009-1-2006). - Часть 1. - Общие требования и методы испытаний. - Введен 2012-01-01; взамен [ГОСТ Р 51327.1-99](#) (МЭК 61009-1-96) / Электронный фонд ПиНТД «Техэксперт». – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200083418>

4. Защита от поражения электрическим током [Электронный ресурс]: ГОСТ Р 50571.3-2009 (МЭК 60364-4-41:2005) / Электроустановки низковольтные. - Часть 4 – 41. - Требования для обеспечения безопасности. - Взамен ГОСТ Р 50571.3-94. - Введен 2011-01-01; взамен [ГОСТ Р 50571.3-94](#) и [ГОСТ Р 50571.8-94](#). – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200082275>

5. Монтаж теплого пола на основе нагревательных матов [Электронный ресурс] : видеоинструкция / ООО «Теплолюкс». – Режим доступа [https://www.youtube.com/watch?v=J6VY7o2Kf\\_s](https://www.youtube.com/watch?v=J6VY7o2Kf_s).

6. Мухортова, Е. И. Безопасная эксплуатация электроустановок (II группа) [Электронный ресурс] / Е. И. Мухортова, Д. Е. Валишин. - Уфа : [б. и.], [2011]. - 46 с. – Режим доступа: <http://biblio.bsau.ru/metodic/10526.pdf>

7. Мухортова, Е. И. Монтаж устройств заземления и зануления : элек-

тронное учебное пособие по дисциплине "Монтаж электрооборудования и средств автоматизации" [Электронный ресурс] : направление 110800 Агроинженерия : профиль подготовки Электрооборудование и электротехнологии : квалификация выпускника Бакалавр / Е. И. Мухортова, Д. Е. Валишин. - Уфа : Башкирский ГАУ, 2013. – Режим доступа: <http://biblio.bsau.ru/metodic/21039.pdf>. – 24.04.2017.

8. Мухортова, Е. И. Пассивные элементы электрических цепей. Резисторы, конденсаторы, пассивные элементы на основе полупроводниковых структур. [Текст] : учебное пособие / Е. И. Мухортова, А. К. Белкин. – Уфа : Баш. ГАУ, 2005. -124 с.

9. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок [Электронный ресурс] : утв. приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 24.07.2013 № 328н / Консультант плюс. – Режим доступа [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_law\\_156148/?frame=1](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_156148/?frame=1). – 27.09.2015.

10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Текст]: все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1.04.2010. – М. : КноРус, 2010. – 488 с.

11. Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс] : ГОСТ 12.1.004-91 / ССБТ. - Введен 1991-07-01; переиздан с изм. 2006-09-01 – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/9051953>

12. Рабочая программа дисциплины Б1.В.ДВ.2.2 «Технология монтажа электрооборудования зданий и сооружений» [Электронный ресурс] : направление подготовки 35.03.06 Агроинженерия : профили подготовки Электрооборудование и электротехнологии, Энергетические системы сельскохозяйственных потребителей : квалификация выпускника Бакалавр / Башкирский ГАУ, Каф. электрических машин и электрооборудования ; сост. Е. И. Мухортова. - Уфа : БГАУ, 2015. - 12 с. – Режим доступа <http://biblio.bsau.ru/metodic/54673.pdf>.

13. Электрический теплый пол [Электронный ресурс] : каталог продукции / ООО «Теплолюкс». – Режим доступа <https://www.teploluxe.ru/bytovyeresheniya/teplyy-pol/elektricheskiy/>.

14. Электроустановки зданий и сооружений с электрообогреваемыми полами и поверхностями [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 50571.25-2001 / Электроустановки зданий. - Часть 7. - Требования к специальным электроустановкам. - Введен 2002-07-01; переиздан с изм. 2012-04-01 / Электронный фонд ПИНТД «Техэксперт». – Режим доступа <http://rdocs3.cntd.ru/document/1200028927>.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Тесты для подготовки к текущему контролю по разделу

**1 Номинальный отключающий дифференциальный ток автоматических выключателей дифференциального тока в системах электрообогрева полов не должен превышать**

- 1) 10 мА;
- 2) 15 мА;
- 3) 30 мА;
- 4) 50 мА.

*Ответ: 3*

*Укажите номера двух правильных ответов*

**2 Для защиты от поражения электрическим током в системах электрообогрева полов применяют:**

- 1) двойную или усиленную изоляцию;
- 2) автоматические выключатели;
- 3) тепловые реле;
- 4) автоматические выключатели дифференциального тока.

*Ответ: 1, 4*

**3 В системах электрообогрева полов применяют нагревательные кабели**

- 1) одножильные;
- 2) двухжильные;
- 3) трехжильные;
- 4) четырехжильные.

*Ответ: 1, 2*

**4 Теплоизоляционный материал, применяемый в системе электрообогрева полов, должен обладать:**

- 1) низкой теплопроводностью;
- 2) высокой теплопроводностью;
- 3) малым коэффициентом объемного расширения при изменении температуры;
- 4) большим коэффициентом объемного расширения при изменении температуры;
- 5) высокой электропроводностью.

*Ответ: 1, 3*

*Укажите номера трех правильных ответов*

**5 Натуральная пробка, применяемая в качестве теплоизоляционного материала, в системах электрообогрева полов, обладает следующими свойствами:**

- 1) низкой теплопроводностью;
- 2) высокой теплопроводностью;
- 3) малым коэффициентом объемного расширения при изменении температуры;

4) большим коэффициентом объемного расширения при изменении температуры;

5) низкой стоимостью;

6) экологичностью.

*Ответ: 1, 3, 6*

*Дополните*

**6 В системах электрообогрева полов в качестве датчиков температуры используют**

\_\_\_\_\_ .  
*Ответ: терморезисторы.*

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**Вопросы для подготовки к письменной контрольной работе**  
**по разделу**

- 1) Из каких материалов выполняют жилы электронагревательных кабелей?
- 2) Сколько токопроводящих жил могут иметь электронагревательные кабели?
- 3) Если электронагревательный кабель имеет одну токопроводящую жилу, как его подключают к системе питания?
- 4) Если электронагревательный кабель имеет две токопроводящие жилы, как его подключают к системе питания?
- 5) Для чего при монтаже систем электрообогрева «Теплый пол» используют алюминиевую фольгу?
- 6) Какие материалы используют в качестве теплоизолирующей подложки при монтаже системы электрообогрева «Теплый пол»?
- 7) Какими свойствами должна обладать теплоизолирующая подложка, используемая при монтаже системы электрообогрева «Теплый пол»?
- 8) Как укладывают секции электронагревательного кабеля на теплоизолирующую подложку?
- 9) Где устанавливают датчик температуры при монтаже системы электрообогрева «Теплый пол»?
- 10) Для чего подключение электронагревательного кабеля осуществляют через терморегулятор?
- 11) Какие аппараты защиты применяют для обеспечения электробезопасности системы электрообогрева «Теплый пол»?
- 12) Чему равен номинальный отключающий дифференциальный ток дифференциальных автоматических выключателей в системах электрообогрева полов?
- 13) Чем дифференциальный автоматический выключатель отличается от УЗО?
- 4) Можно ли вместо дифференциального автоматического выключателя использовать обычный автоматический выключатель вместе с УЗО?
- 14) Какое напряжение используют для питания систем электрообогрева полов в жилых и общественных зданиях?
- 15) Какое устройство используют для присоединения концов электронагревательного кабеля к питающей сети?