

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи

ВАН АНТОН ГУНМИНОВИЧ

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА СЕЗОННОГО
РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ
ПРЕДПРИЯТИЙ КРС

Специальность 4.3.2. «Электротехнологии, электрооборудование и
энергоснабжение агропромышленного комплекса»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук, доцент

Виноградов Александр Владимирович

Москва - 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ СПОСОБОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СЕЗОННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КРС	9
1.1 Анализ особенностей технологического процесса животноводческих предприятий КРС, в том числе его сезонности по месяцам и времени суток..	9
1.2 Анализ существующих требований к надёжности электроснабжения животноводческих предприятий, в том числе с учётом особенностей и сезонности их технологического процесса	17
1.3 Анализ сезонности отказов в системах электроснабжения сельских потребителей на примере АО ДРСК	25
1.4 Система базовых показателей надёжности электрических сетей для анализа журналов отключений	30
1.5 Анализ способов и средств повышения надёжности электроснабжения животноводческих предприятий	42
1.6 Выводы и постановка задач исследования	49
2. РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ УЩЕРБА ОТ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЯМ КРС	52
2.1 Модель технологического процесса животноводческого предприятия КРС с учётом сезонности	52
2.2 Разработка вероятностной модели ущерба от недоотпуска электроэнергии животноводческим предприятиям и проверка адекватности модели	64
3. РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ СОКРАЩЕНИЯ УЩЕРБА ОТ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЯМ С УЧЁТОМ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ УЩЕРБА.....	71
3.1. Разработка способов сезонного резервирования электроснабжения	71
3.2. Обоснование перечня ответственных электроприёмников животноводческих предприятий КРС для сезонного резервирования.....	86
3.3 Обоснование функциональных требований к техническим средствам для реализации способов сезонного резервирования на животноводческом предприятии КРС	100
3.4 Выводы по главе.....	103

4. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ СПОСОБОВ СЕЗОННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ.....	104
4.1. Разработка структурных и электрических схем ПАК СР ответственных электроприёмников животноводческого предприятия КРС.....	104
4.2. Разработка экспериментального образца ПАК СР	109
4.3. Лабораторные испытания экспериментального образца ПАК СР и обработка их результатов	112
4.4. Выводы по главе.....	119
5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СПОСОБОВ СЕЗОННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КРС...	120
5.1 Определение капитальных вложений на реализацию ПАК СР	120
5.2 Определение эксплуатационных издержек на реализацию разработанных устройств	126
5.3 Оценка экономического эффекта от реализации способов сокращения ущерба от недоотпуска электроэнергии животноводческим предприятиям с применением ПАК СР.	130
5.4 Выводы по главе.....	137
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	141
ПРИЛОЖЕНИЕ А.	161
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	164
ПРИЛОЖЕНИЕ В.	167

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. На фермах КРС в разное время суток происходят процессы доения, кормления животных, некоторые другие процессы. По времени года сезонность проявляется в первую очередь в процессах управления микроклиматом животноводческих предприятий, а также других процессах. Сезонность электрической нагрузки, таким образом, связана с изменением технологического процесса по времени суток в привязке к времени года. Поэтому ущерб от отключений электроэнергии также зависит от момента времени суток и года, в который произошло отключение и состава работающего в этот момент оборудования. Частота отказов в электрических сетях в разное время года и суток различна, что определяется сезонностью климатических факторов, а также сезонностью жизнедеятельности людей, работы предприятий. При этом поток отключений, с учётом аварийных и преднамеренных, может достигать 100 отключений в год на 100 км линий электропередачи, а суммарное время перерывов в электроснабжении часто выше 72 часов в год. Перебои в электроснабжении могут вызвать снижение удоев на 15% и более. Для сокращения ущербов от аварийных и плановых перерывов в электроснабжении выполняется резервное электроснабжение ответственного электрооборудования предприятий АПК. При этом изменение состава необходимого к резервированию в разное время суток и года электрооборудования в традиционных системах резервирования не учитывается. Это приводит к завышению мощности резервных источников электроснабжения и, соответственно, расходов на их эксплуатацию. Поэтому актуальной задачей является разработка программно-аппаратного комплекса для сезонного резервирования электроснабжения животноводческих предприятий КРС.

Степень разработанности темы. Проблеме повышения надёжности электроснабжения сельскохозяйственных объектов посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых. Среди них можно выделить работы Будзко И.А., Зуля Н.М., Trojanowska M., Папкина Б.В., Лещинской Т.Б., Осокина В.Л., Zhu L., Jiang F., Luo M., Zafar M.H., посвященные методам расчёта

надёжности сельских электрических сетей, способам и средствам её повышения, Наумова И.В., Васильевой Т.Н., в которых выполняется исследование количества отказов в зависимости от сезонных причин, Зуля Н.М., Эбина Л.Э. Агаларова А.М. и других, посвященные порядку учёта отказов, методикам расчёта ущерба от перерывов в электроснабжении, Судаченко В. Н., Эрка А. Ф., Тимофеева Е. В., Виноградова А.В., Виноградовой А.В., в которых исследуются методики определения параметров надёжности электроснабжения с учётом сезонности, методики расчёта мощности источников резервирования, выполняется разработка устройств сезонного резервирования, работы других авторов. В то же время указанными авторами не решены вопросы разработки программно-аппаратного комплекса для повышения надёжности ферм КРС с учётом сезонности их технологического процесса.

Целью работы является рационализация мощности резервного источника электроснабжения животноводческого предприятия КРС, сокращение энергозатрат при его использовании посредством разработки программно-аппаратного комплекса сезонного резервирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

- выполнить обоснование разработки способов и технических средств сезонного резервирования для рационализации мощности резервного источника электроснабжения животноводческого предприятия КРС, сокращения энергозатрат при его использовании;
- разработать регрессионную модель количества аварийных отключений электроэнергии в зависимости от месяца года и времени суток и методику определения вероятного ущерба животноводческих предприятий КРС от недоотпуска электроэнергии с учётом сезонности;
- разработать и обосновать способы сезонного резервирования, обеспечивающие рационализацию необходимой мощности резервного источника и снижение энергозатрат при его использовании с обеспечением

требуемой надёжности электроснабжения животноводческих предприятий КРС;

- разработать программно-аппаратный комплекс для реализации способов сезонного резервирования электроснабжения животноводческих предприятий КРС;
- выполнить технико-экономическое обоснование применения разработанного программно-аппаратного комплекса сезонного резервирования электроснабжения животноводческих предприятий КРС.

Объект исследования – системы электроснабжения животноводческих предприятий КРС.

Предметы исследования - сезонность отключений электроэнергии, мощность резервного источника электроснабжения предприятий КРС при использовании программно-аппаратного комплекса сезонного резервирования.

Методы исследования. В работе использован комплексный подход, включающий методы статистики, надёжности, математического и физического моделирования, фундаментальные основы электротехники, методы инженерного эксперимента.

Научная новизна заключается в:

- полученных зависимостях числа аварийных отключений в линиях 10 кВ от месяца года и времени суток для условий Дальневосточной распределительной сетевой компании;
- разработанной методике определения вероятного ущерба от недоотпуска электроэнергии предприятию КРС, позволяющей учесть зависимость числа аварийных отключений от месяца и времени суток;
- разработанных способах и алгоритмах реализации резервирования электроснабжения животноводческих предприятий, отличающихся учётом сезонного характера работы электрооборудования;
- разработанном программно-аппаратном комплексе сезонного резервирования электроснабжения предприятия КРС.

Теоретическая значимость заключается в разработанных способах, алгоритмах и технических средствах сезонного резервирования электроснабжения предприятий КРС, а также регрессионной модели и методике определения количества аварийных отключений электроэнергии с учётом сезонности. Теоретические исследования вносят вклад в исследование систем резервного электроснабжения и могут быть использованы при подготовке специалистов энергетических и агроинженерных профилей. Получены 2 патента на разработанные способы.

Практическая значимость. Применение разработанных способов и программно-аппаратного комплекса сезонного резервирования позволяет обеспечить надёжность электроснабжения и сокращение энергозатрат и затрат топлива при резервировании электроснабжения предприятий КРС. Разработанная методика позволяет рассчитывать вероятный ущерб от недоотпуска электроэнергии предприятию с учётом сезонности частоты отключений электроэнергии по месяцам и времени суток. Разработанное устройство внедрено в учебный процесс ФГБОУ ВО Дальневосточного ГАУ.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная методика определения вероятного ущерба от недоотпуска электроэнергии предприятию КРС позволяет учесть зависимость ущерба при аварийных отключениях от месяца и времени суток.

2. Разработанные способы сезонного резервирования электроснабжения животноводческих предприятий и алгоритмы их реализации обеспечивают необходимую надёжность и сокращение энергозатрат и затрат топлива при резервировании электроснабжения предприятий КРС.

3. Разработанный программно-аппаратный комплекс сезонного резервирования электроснабжения предприятия КРС позволяет реализовать разработанные способы сезонного резервирования и обеспечивает адресное подключение электрооборудования к резервному источнику электроснабжения с учётом календарного и суточного графика работы данного оборудования.

Реализация результатов исследования. Изготовленный программно-аппаратный комплекс сезонного резервирования прошёл лабораторные испытания и внедрён в учебном процессе в ФГБОУ ВО Дальневосточном ГАУ.

Вклад автора состоит в формулировании цели и задач исследований, непосредственном участии в проведении теоретических исследований, обработке статистических данных, разработке методики определения вероятного ущерба от недоотпуска электроэнергии предприятию КРС и её апробации для условий дальневосточного региона, обработке полученных результатов, разработке экспериментального образца программно-аппаратного комплекса сезонного резервирования, планировании, проведении и обработке результатов лабораторных испытаний, апробации результатов исследований, написании диссертации, подготовке публикаций по выполненной работе.

Достоверность результатов подтверждена: сопоставимостью результатов теоретических исследований с экспериментальными данными; использованием традиционных методических принципов современной науки и известных методов анализа и синтеза; непротиворечивостью математических выкладок и преобразований.

Апробация. Основные материалы и результаты научной работы докладывались и получили одобрение на Международных научно-технических конференциях в ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ФГБОУ ВО Дальневосточном ГАУ, ФГБОУ ВО Орловском ГАУ, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, в 2023-2026 годах, научно-практических семинарах в филиале ПАО «Россети Центр» - «Орёлэнерго» в 2024 -2026 годах.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 научных статей, в том числе 3 работы в периодических изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, получено 2 патента на способы.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 3 приложений. Диссертация изложена на 169 страницах, включает 37 рисунков, 16 таблицы и 120 наименования источников литературы

1. ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ СПОСОБОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СЕЗОННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КРС

1.1 Анализ особенностей технологического процесса животноводческих предприятий КРС, в том числе его сезонности по месяцам и времени суток

Животноводческое производство представляет собой сложный и протяжённый цикл, включающий множество взаимосвязанных операций. В него входят как работы по обеспечению животных кормами и водой, так и мероприятия по уборке и переработке навоза. Кроме того, к этому процессу относятся получение готовой продукции, убой животных на мясо, организация спаривания, а также создание и поддержание в помещениях подходящих условий микроклимата [18].

Ключевым условием для работы указанного оборудования является стабильное электроснабжение и соответствие электроэнергии требуемым параметрам качества. Даже кратковременное прекращение подачи электричества способно вызвать серьёзные потери, которые нередко оцениваются в десятки, а иногда и в сотни тысяч рублей. Именно поэтому обеспечение непрерывной подачи электроэнергии таким технологическим процессам имеет первостепенное значение [18].

Приготовление кормов, кормление и поение животных. При содержании сельскохозяйственных животных большое значение имеют их кормление, обеспечение водой и качество используемых кормов. Именно рацион во многом определяет общее состояние скота и уровень его продуктивности. Для коров обычно применяют различные виды кормов: сено, солому, силос, зелёную массу, кукурузу, корнеплоды, комбикорм, а также специальные кормовые добавки [18, 54].

Подготовка кормов, как правило, включает измельчение исходного сырья и его последующее смешивание в нужных пропорциях. На крупных фермах и животноводческих комплексах кормовые смеси нередко изготавливают

непосредственно в день раздачи либо накануне. В таких условиях перебои с электричеством могут стать серьёзной проблемой: чем дольше отсутствует питание, тем выше риск ухудшения состояния животных, снижения их продуктивности и даже падежа поголовья [18, 54].

Раздача кормов крупному рогатому скоту представляет собой последовательность связанных между собой действий. Сначала корма загружают, причем иногда разные виды размещают в отдельных местах. Затем их доставляют к месту кормления — в коровник. В зависимости от используемой технологии на этом этапе может выполняться смешивание компонентов. После этого раздатчик устанавливают в нужное положение относительно кормушек, а завершается процесс дозированием и подачей корма в кормушки либо на кормовой стол [18, 60].

Грамотно организованное поение играет важную роль в сохранении здоровья животных и поддержании их продуктивности. Особенно высокая потребность в воде отмечается у дойного скота: на выработку одного литра молока корове необходимо примерно в пять раз больше воды. Наиболее подходящей считается вода температурой от +8 до +12 °С. Если она будет слишком тёплой, то не окажет нужного освежающего эффекта, а чрезмерно холодная вода способна привести к переохлаждению, ослаблению защитных сил организма и развитию заболеваний. Кроме того, нарушения в электроснабжении могут привести к задержке подачи воды, из-за чего удои способны уменьшиться на 15%. В холодное время года такие сбои также опасны замерзанием воды в трубопроводах, что может повлечь за собой повреждение системы водоснабжения и материальные потери для предприятия [18, 47].

Сбор продукции. Молоко у коров получают с использованием доильного оборудования, выбор которого зависит от того, каким способом организован процесс доения. Если животные доятся через молокопровод, обычно используют аппараты АДМ 8А-100 и АДМ 8А-200, при этом их потребляемая мощность составляет соответственно 4,74 и 8,75 кВт. Когда доение проводится в

специализированном доильном зале, применяют установку УДА 8А «Тандем», для работы которой требуется 2,2 кВт [92, 54]. По результатам исследований, автоматизированные доильные системы нового поколения, особенно роботы-дойеры, показывают более высокую результативность по сравнению с классическими установками. При этом среди традиционного оборудования наиболее выгодной по затратам считается система «Елочка», а следом за ней — «Карусель». В то же время уже ведутся разработки роботов, способных функционировать на основе доильного зала типа «Карусель», что позволит еще сильнее повысить производительность и сократить расходы на автоматизированное доение [18, 64, 54].

Коров обычно доят дважды в день — рано утром и вечером, примерно с 06:00 до 07:00 и с 20:00 до 21:00. Если из-за перебоев с электроснабжением этот режим нарушается, животные могут остаться недоеными, что приводит к чрезмерному переполнению вымени. В такой ситуации молоко начинает самопроизвольно выделяться, а его запах привлекает насекомых, которые способны не только кусать корову, но и переносить инфекцию. Кроме того, остатки молока высыхают на сосках, вызывая стягивание кожи и образование трещин [54]. Эти повреждения нередко кровоточат и становятся дополнительным путём для попадания инфекции. Нередко также развивается отёк вымени, из-за которого корова на длительное время теряет продуктивность. В результате хозяйство несёт значительные потери, связанные со снижением надоев [71].

Сохранность молока во многом зависит от своевременного охлаждения, особенно в жаркое время года. Если продукция остается без охлаждения, в ней стремительно размножаются микроорганизмы, что приводит к скисанию и ухудшению качества. Например, при температуре 32 °С уже через 10 часов кислотность молока возрастает в 2,8 раза, а количество бактерий увеличивается в 40 раз. Если же молоко поддерживается на уровне 12 °С, то за тот же промежуток времени кислотность практически не меняется, а бактериальная

обсемененность остается почти прежней. Кроме того, длительная неисправность холодильного оборудования может привести к серьезным потерям из-за порчи уже собранной продукции. Поэтому охлаждение является одним из ключевых условий, позволяющих сдерживать развитие вредной микрофлоры и сохранять высокое качество молока [18, 85, 54].

Микроклимат. На состояние здоровья и физиологические функции крупного рогатого скота в первую очередь воздействуют такие характеристики микроклимата, как уровень температуры, степень влажности, состав воздуха, освещённость, а также интенсивность движения воздушных масс. Указанные показатели считают вторичными, поскольку они формируются под влиянием жизнедеятельности животных, а также работы оборудования, машин и различных устройств, обеспечивающих обслуживание помещения и самого поголовья [18, 99, 54].

Для коров привязного содержания и находящихся в периоде дойки, рекомендуется поддерживать следующие условия микроклимата: зимой температура в помещении должна быть на уровне $+8...+10$ °С, влажность воздуха — примерно 70...75%, а воздушные потоки — 0,3...0,4 м/с. В межсезонье допустимо небольшое усиление движения воздуха до 0,5 м/с. Освещение в коровнике должно составлять 30...70 лк [18, 106].

Даже небольшое отклонение параметров микроклимата от нормы может привести к значительному ухудшению состояния животных. Поэтому, для сохранения благоприятных условий содержания животных используют разнообразные технические средства — от отопительных установок и кондиционеров до вентиляционных систем, воздушных завес и вентиляторов. Их работа настраивается с учетом природно-климатических условий, поскольку даже незначительное нарушение параметров микроклимата способно резко ухудшить состояние животных [18, 43, 54].

Ранее проведённые исследования разных авторов указывают, что в холодные месяцы — с ноября по май — энергозатраты существенно возрастают

по сравнению с тёплым периодом, который охватывает июнь–октябрь. Основная причина этого роста связана с необходимостью отопления, особенно если оно осуществляется с помощью электронагревательных приборов [86, 54].

В теплое время года основное внимание уделяется охлаждению, тогда как в холодный сезон ключевую роль играют отопительные системы. Если летом не обеспечивать охлаждение, у животных развивается тепловой стресс, который заметно снижает продуктивность коров, а в наиболее тяжелых ситуациях может приводить даже к их гибели [10]. В животноводческих помещениях особенно в холодный сезон важно поддерживать стабильный микроклимат. Если отопительное оборудование работает с перебоями или не справляется с нагрузкой, животные вынуждены тратить больше энергии на обогрев собственного тела. Длительное пребывание в переохлаждённой среде нередко становится причиной заболеваний, а в тяжёлых случаях — и падежа.

Дополнительную опасность зимой создают возможные сбои в электроснабжении систем отопления: в таких условиях возрастает вероятность промерзания труб, что способно вызвать аварию на предприятии [18, 54].

Чтобы воздух в помещении оставался в норме и сохранялись санитарные условия, необходимо регулярно и своевременно удалять экскременты животных [18].

Постоянное присутствие аммиака в воздухе, даже в сравнительно небольшой концентрации около 10 мг/м^3 , наносит заметный вред здоровью животных. Источником этого газа часто становится навоз: выделяясь, он попадает в дыхательные пути и на слизистые оболочки глаз, где растворяется и вызывает сильное раздражение. Кроме того, аммиак снижает глубину дыхания, из-за чего ухудшается вентиляция лёгких. Вследствие этого у животных могут появляться кашель, слезотечение, бронхит, отёк лёгких и другие нарушения. Если же концентрация аммиака становится высокой, это приводит к параличу дыхания и гибели животного [18, 58, 54].

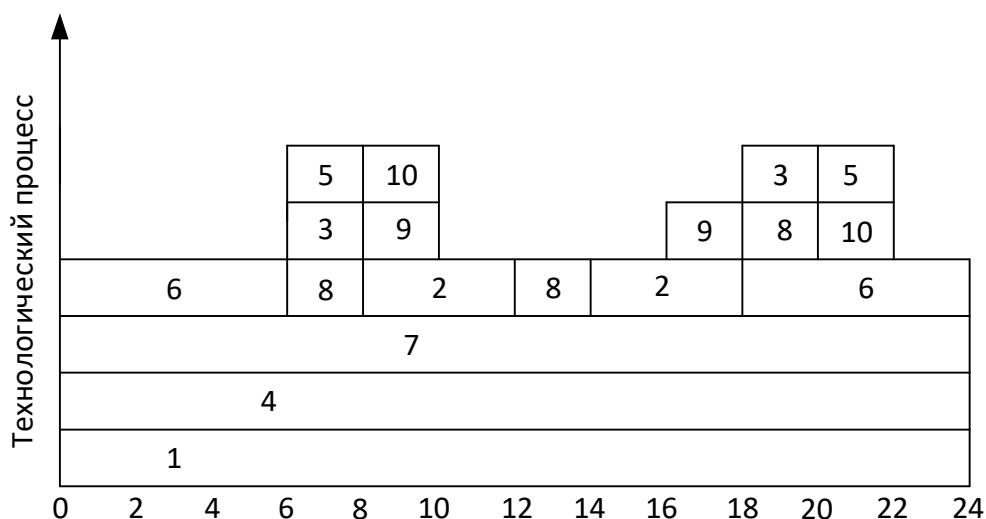
Американские исследования выявили, что при увеличении светового периода до 16 часов у животных заметно улучшаются показатели продуктивности: её рост может достигать 8% [48]. Многие исследователи считают, что освещение дает заметный положительный эффект лишь при уровне яркости примерно 160–200 лк [48]. В ночное же время показатели освещённости в животноводческом помещении понижают, что успокаивает животных [18, 54].

Освещение в животноводческих помещениях играет важную роль в формировании половой функции и общем состоянии животных. Когда света недостаточно, у молодняка могут возникать серьёзные, иногда необратимые изменения в половых железах. У взрослых особей это нередко приводит к снижению половой активности, временному бесплодию, а также к падению продуктивности и ослаблению устойчивости к заболеваниям. Кроме того, плохая освещённость затрудняет работу персонала и повышает риск несчастных случаев на ферме [18, 48, 54].

Все перечисленные технологические процессы по своей сути не зависят от численности поголовья крупного рогатого скота на животноводческом предприятии; от количества животных меняются лишь объем необходимого оборудования и величина потребляемой мощности [70, 54]. График потребления энергии на животноводческом предприятии формируется под влиянием нескольких факторов: численности поголовья, состава и характеристик используемого оборудования, а также сезонного характера технологических операций. При этом сами производственные процессы напрямую связаны с биологическими особенностями животных, из-за чего их режим меняется в зависимости от времени года, конкретного месяца и даже суток. Таким образом, каждый из перечисленных технологических этапов отличается собственной сезонной и суточной динамикой [16]. Для животноводческих хозяйств особенно важна не только годовая, но и суточная неравномерность производственных процессов. Охлаждение и отопление помещений заметно зависят от времени года, тогда как доение, раздача кормов и удаление навоза повторяются по

определённому графику в течение дня. При этом именно суточная сезонность оказывает наибольшее влияние на работу таких предприятий.

На рисунке 1.1.1 представлена технологическая карта производственных процессов на животноводческом предприятии КРС в течении суток [70].



1- водоснабжение (24 ч в сутки); 2 - кормление (2 х 3 ч); 3 – доение (2 х 2 ч); 4 - складирование и хранение молока (24 ч в сутки); 5 - уборка и транспортировка навоза (2 х 2 ч); 6 - освещение (12 ч); 7 - подогрев воды в телятнике (24 ч); 8 - кормление в телятнике (3 х 2 ч); 9 - облучение новорожденных телят (2 х 2 ч); 10 - уборка и транспортировка навоза в телятнике (2 х 2 ч)

Рисунок 1.1.1 – Технологическая карта производственных процессов на животноводческом предприятии КРС [18].

На животноводческом предприятии, занимающемся содержанием крупного рогатого скота, технологический процесс в летний сезон требует особого контроля. Как видно из рисунка 1.1.1, в этот период вентиляционная система функционирует интенсивно, обеспечивая поддержание микроклимата в помещении на уровне, близком к оптимальному. Это особенно важно, поскольку отклонение температуры от нормы способно вызвать у животных тепловой стресс, ухудшить их самочувствие и, как следствие, снизить объем надоев [18].

Дополнительную угрозу представляет прекращение подачи электроэнергии: в такой ситуации может остановиться оборудование,

предназначенное для хранения молока, что приведет к его порче. Не менее значимым является и соблюдение режима кормления — в промежутке с 13:00 до 18:00 оно осуществляется ежедневно, а его нарушение также отрицательно сказывается на молочной продуктивности [18].

На животноводческих объектах, таких как коровники и телятники, ряд технологических операций имеет выраженную привязку к суточному режиму. К числу таких процессов относятся кормление животных, дойка, удаление и перемещение навоза, а также работа систем освещения и облучения новорождённых телят. В то же время существуют функции, которые должны обеспечиваться непрерывно в течение всех суток: это подача воды, хранение и накопление молока, а также подогрев воды в телятнике. Указанные особенности следует принимать во внимание при выборе способа резервирования электрооборудования, обслуживающего эти процессы [18].

Как правило, на животноводческих предприятиях резервное электроснабжение организуют за счёт запасных линий электропередачи либо автономных источников, например дизельных электростанций (ДЭС). При этом обычно предусматривается резервирование всей установленной и потребляемой мощности [95]. В статье [95] предложено снижать мощность резервного источника электроснабжения, резервируя питание только ответственных электроприёмников, а в работах [16, 76, 77, 79] предложены способы и устройства сезонного резервирования, алгоритм его осуществления. Суть способов сезонного резервирования заключается в определении сезонов по месяцам года и времени суток, в которые необходимо резервировать питание того, или иного оборудования, определении, на основе совпадения сезонов работы электроприёмников, необходимой мощности резервного источника электроснабжения и подключении к нему резервируемых электроприёмников только в сезоны их работы. Такой подход, как показано в [16, 31] минимизирует дополнительные затраты на резервные источники питания и обеспечивает резервирование для различных технологических процессов, простой которых, в

частности на животноводческом предприятии, может привести к ущербу как от простоя в производстве, так и от устранения последствий простоя [18].

На животноводческих предприятиях характер технологических процессов во многом определяется естественными биологическими ритмами сельскохозяйственных животных, прежде всего крупного рогатого скота. Из-за этого возникает как годовая сезонная зависимость, связанная с поддержанием требуемых условий микроклимата в разные месяцы, так и суточная, которая помимо микроклиматических параметров включает дойку, раздачу кормов и другие операции. Подобная неравномерность работы непосредственно отражается на режиме нагрузки предприятий и усиливает возможный ущерб при перебоях в электроснабжении.

Чтобы снизить возможные потери, важно предусматривать резервное электропитание для тех электроприёмников, которые обеспечивают выполнение критически важных технологических операций. Наиболее эффективным направлением в этом случае считается использование сезонного резервирования, так как оно позволяет существенно уменьшить как затраты, так и потенциальный ущерб.

При этом расчёт убытков, возникающих из-за перебоев в электроснабжении, следует выполнять с учётом сезонных особенностей работы оборудования на животноводческих предприятиях, а также с учётом того, в какие периоды чаще происходят отказы в их системах электроснабжения [18].

1.2 Анализ существующих требований к надёжности электроснабжения животноводческих предприятий, в том числе с учётом особенностей и сезонности их технологического процесса

Вопросы обеспечения надёжности электроснабжения были рассмотрены в работах Афанасьева В.В. [2], Берхане А.М. [5], Стребкова Д.С. [94], Белова С.И. [4], Зуль [57, 6] и многих других учёных. Так, в статье Григораши О.В. показаны графики, характеризующие отношение основных причин перерывов в электроснабжении в процентном соотношении. Автор выделяет две основные

причины перерывов: несоответствие параметров качества электроэнергии требованиям потребителей (величины напряжения, частоты тока) (45%) и стихийные бедствия (37%). К менее значимым относятся: ошибка средств управления (8%), аварийные отключения (5%) и другие причины (5%) [52]. В данной статье проводится анализ двух категорий электрических потребителей. К первой относятся установки, для которых необходима подача электроэнергии с постоянно высокими характеристиками качества и которые не допускают даже кратковременного прекращения электроснабжения. Ко второй группе отнесено оборудование, которое не предъявляет столь жестких требований к качеству электроэнергии и может выдерживать непродолжительные перерывы в питании без нарушения технологического процесса [52]. В работе [2] рассматривается надёжность электроэнергетической системы, при этом подчёркивается, что её уровень в наибольшей степени зависит от аварий и отказов на линиях электропередачи и на генерирующих объектах, поскольку именно они приводят к наиболее продолжительным простоям оборудования. Отдельно выделены ключевые причины, влияющие на время восстановления и, следовательно, на общую надёжность системы: физический износ оборудования ЛЭП и ГРЭС, неблагоприятные погодные условия, а также человеческий фактор. Кроме того, в статье представлены способы и подходы к расчёту надёжности электрических систем. В работах [67, 91] рассматривается прогнозирование отказов в сельских электрических сетях и отмечается также наибольшее влияние на надёжность электроснабжения отказов именно в ЛЭП. В качестве показателя надёжности элемента или схемы электроснабжения в работе [5] предлагается величина недоотпуска электроэнергии из-за вероятных отказов электрооборудования и элементов схемы W_b , определяемая за год по уравнению:

$$W_H = \sum_{i=1}^n P_i \sum_{j=1}^N (\omega_{ij} \tau_{ij} + \gamma \lambda_{ij} t_{ij}), \quad (1.2.1)$$

где ω_{ij} , λ_{ij} – частота отказов в год i -го элемента на j -том участке аварийная и плановая, год⁻¹;

τ_{ij} и t_{ij} – продолжительность одного отказа i -го элемента на j -том участке аварийная и плановая, ч;

$\gamma=0,33$ – коэффициент, учитывающий меньшую тяжесть плановых отключений, безразм.

Для электроприемников второй категории установлены следующие нормативные показатели надежности: допустимая частота отказов в электроснабжении ω_{II} для специально выделенной группы электроприемников, не допускающих перерыва в электроснабжении τ более 0,5 ч: $\omega_{II} (\tau \leq 0,5 \text{ ч}) = 2,5 \text{ год}^{-1}$. К этим приемникам относятся комплексы и фермы молочного направления (системы доения коров, рабочего освящения в доильных залах, промывка молокопроводов, локального обогрева телят и т.д.); птицефермы (системы поения птиц, локального обогрева, вентиляция, инкубация яиц и вывода цыплят, цехов и т.д.) и др [5].

Для остальных электроприемников второй категории, выдерживающих перерыв в электроснабжении до 4 часов, частота отказов: $\omega_{II} (\tau \leq 4 \text{ ч}) = 2,3 \text{ год}^{-1}$. При продолжительности отказов до 10 часов частота отказов при мощности 120 кВт и более: $\omega_{II} (4 \text{ ч} \leq \tau \leq 10 \text{ ч}) = 0,1 \text{ год}^{-1}$. При нагрузке до 120 кВт: $\omega_{II} (4 \text{ ч} \leq \tau \leq 10 \text{ ч}) = 0,2 \text{ год}^{-1}$. Для электроприемников третьей категории: $\omega_{III} (\tau \leq 24 \text{ ч}) = 3 \text{ год}^{-1}$. В соответствии с методическими указаниями, разработан комплекс мероприятий и средств, которые должны применяться при проектировании сетей и в процессе их эксплуатации [5]. В [27] показано, что нормировать допустимое время перерывов в электроснабжении целесообразно исходя из требований к потокам отказов в сети в зависимости от класса напряжения данной сети и от её конструктивного исполнения. Так, с учётом среднестатистического потока отказов для ЛЭП 0,4 кВ, выполненных неизолированным проводом ($17-29 \text{ год}^{-1}$ на 100 км) и ЛЭП с самонесущими изолированными проводами ($2,7 \text{ год}^{-1}$ на 100 км) нормируемое допустимое время аварийных перерывов составит 0,68 ч/км·год и 0,108 ч/км·год соответственно [27]. Для ТП 10/0,4 кВ время перерывов 1,9 ч/год [62] соответствует потоку отказов $31,6 \text{ год}^{-1}$ на 100 шт. оборудования

ТП при среднем времени восстановления 6 ч. Это время можно принять за нормируемое допустимое время аварийных перерывов, связанных с отказами оборудования ТП 10/0,4 кВ [27]. Для ЛЭП 10 кВ поток отказов составляет в среднем 25 год^{-1} на 100 км. Допустимое время перерывов при этом составит 1 ч/год при среднем времени восстановления 4 ч [27]. Тогда, например, для сети 0,4 кВ, состоящей из одной ЛЭП 0,4 кВ длиной 1 км, выполненной изолированным проводом и питаемой от ТП 10/0,4 кВ по линии 10 кВ длиной 1 км допустимое время аварийных перерывов составит $0,108 + 1,9 + 1 = 3,08 \text{ ч/год}$ [27]. В работе [34] рассмотрено влияние секционирования на показатели надёжности, в том числе на время перерывов в электроснабжении. В статье [94] рассмотрены разные подходы, позволяющие повысить надежность и устойчивость, а вместе с тем и общую эффективность системы электроснабжения. Выбор конкретного решения либо комбинации нескольких мер должен выполняться отдельно для каждого объекта с учетом особенностей его эксплуатации, важности производственного процесса, возможных потерь при нарушении электроснабжения, текущего состояния существующей сети, а также направлений ее дальнейшего совершенствования.

Для сельских объектов к числу таких мер, направленных на повышение надежности электроснабжения, можно отнести:

- модернизация электрических сетей и повышение надежности системы энергоснабжения;
- для объектов с высокой степенью ответственности, где даже кратковременное отключение питания приводит к серьезным потерям, целесообразно внедрение резервных источников энергии, включая дизельные генераторы, ветро-солнечные комплексы с накопителями энергии и иные автономные установки;
- создание схемы автономного электроснабжения за счет собственных генерирующих мощностей, работающих на местных топливно-энергетических

ресурсах, отходах аграрного производства и других возобновляемых источниках энергии.

- создание новых либо модернизация действующих котельных для обеспечения сельскохозяйственных объектов собственным теплом и электроэнергией [94].

Эти способы являются обобщёнными и не учитывают сезонности технологического процесса на животноводческих предприятиях. При этом такие подходы имеют общий характер и не учитывают сезонности технологических процессов на животноводческих объектах. Изучение существующих исследований по вопросам повышения надёжности электроснабжения показало, что ключевой целью всех мер в этой сфере является гарантирование непрерывной подачи электроэнергии. Это объясняется спецификой производственных процессов в животноводстве, где перебои в энергоснабжении особенно критичны. В связи с этим для повышения надёжности электроснабжения таких предприятий нередко рекомендуется использовать альтернативные источники энергии [94, 92].

Однако, нетрадиционные источники электроэнергии не обеспечивают непрерывную выработку электричества и не всегда могут дать необходимый объём мощности в нужный момент, особенно при аварийных ситуациях. Кроме того, эффективность таких источников заметно зависит от конкретного региона, поэтому объёмы производимой ими энергии могут существенно различаться. Ряд исследователей также указывает, что широкому внедрению подобных технологий мешает невысокое качество вырабатываемой электроэнергии, связанное с её неравномерным производством, что особенно характерно, например, для ветрогенераторов [40]. Данные работы также не рассматривают обеспечение надёжности электроснабжения с точки зрения сезонности.

Учитывая вышесказанное, мы можем вывести некоторые факторы, влияющие на надёжность энергоснабжения:

- 1) Состояние элементов питающей сети (ЛЭП, ГРЭС, КТП, ТП и т.д.).

- 2) Износ технологического оборудования.
- 3) Погодные условия.
- 4) Человеческий фактор.
- 5) Средства управления.
- 6) Загруженность питающей сети.
- 7) Количество эксплуатируемого оборудования.
- 8) Условия эксплуатации электрооборудования.

В монографии [41] указаны следующие показатели надёжности электроснабжения потребителей:

- 1) частота отказов;
- 2) средняя длительность отказа;
- 3) математическое ожидание недоотпуска электроэнергии за расчетный период;
- 4) средний ущерб от недоотпуска электроэнергии;

К важнейшим показателям надёжности электроснабжения также стоит отнести время перерывов в электроснабжении [27]. В рассмотренных выше работах не рассмотрен фактор сезонности и его влияние на показатели надёжности электроснабжения. Однако, имеются работы, которые показывают важность данного критерия для обеспечения надёжности электроснабжения животноводческих предприятий. Так в работе [57] на графиках показаны кривые числа и продолжительности отказов электрооборудования в зависимости от времени (суточный график) и от месяца (годовой график). Было установлено совпадение перерывов со временем работы сельскохозяйственного оборудования. В частности, максимум отключений приходится на май – август с 8 до 16 часов. Однако в данной работе не приведена методика расчёта показателей надёжности с учётом сезонности. Такая методика приведена в работе [35], в которой на статистических данных 2018-2021 гг. подтверждаются зависимости количества отказов от сезона года и времени суток. В случае аварийных отключений это связано с сезонностью климатических условий,

неравномерностью графиков нагрузки и другими факторами. В случае плановых отключений – с графиками работ в течение суток, планированием ремонтных программ и др. В указанных выше работах мы наблюдаем рассмотрение вопросов надёжности с учётом сезонности. Но данный вопрос раскрыт в них не полностью. В частности, в работе [57] рассмотрены отказы в сельских электрических сетях, сделан вывод о том, что факторы сезонности влияют на надёжность электроснабжения, но дальше этот вопрос не раскрывается. В работе [35] имеется методика расчёта, но нет наложения прогнозных сезонных отказов на технологический процесс животноводческого комплекса. Кроме того, данные по коэффициентам сезонности приведены для условий Орловской области.

В работе [51] также учитывается сезонность как фактор, влияющий на эксплуатационную надёжность электрооборудования. В статье рассматриваются особенности сезонной эксплуатации электрооборудования на сельскохозяйственных предприятиях и предложены четыре стратегии обеспечения эксплуатационной надёжности сельскохозяйственного электрооборудования с учётом постоянной и сезонной работы [51]. В работах [14, 36, 24] были рассмотрены методы повышения надёжности с помощью резервирования ответственных потребителей. Также были найдены патенты способов и устройств сезонного резервирования [76, 77, 79]. Можно говорить о том, что работа в направлении повышения надёжности с учётом факторов сезонности ведётся. Однако в этих работах также не прослеживается непосредственная связь с технологическим процессом на животноводческом предприятии. Как было отмечено в работе [14] технологический процесс на животноводческом предприятии КРС имеет ряд особенностей, связанных с сезонностью. Поэтому требуется провести исследования и выяснить влияние критерия сезонности на надёжность электроснабжения животноводческого предприятия.

Обеспечение энергетической безопасности страны является приоритетом государственной энергетической политики Российской Федерации [69]. Для

достижения этой цели необходимо в первую очередь гарантировать устойчивое электроснабжение, включая объекты животноводства. Именно надёжность подачи электроэнергии здесь напрямую влияет не только на функционирование отрасли, но и на общую энергетическую безопасность. Проведённый анализ научных публикаций показывает, что проблеме надёжного электроснабжения животноводческих предприятий посвящено значительное количество исследований. Учёные уже оценили современное состояние этой системы, определили ключевые показатели надёжности, предложили подходы к их регламентированию и сформировали набор мер, направленных на её дальнейшее повышение.

На надёжность электроснабжения воздействует целый ряд обстоятельств: техническое состояние питающей сети, степень износа оборудования, особенности погодных условий, ошибки персонала, применяемые системы управления, уровень нагрузки на сеть, объём находящегося в эксплуатации оборудования и режимы работы электроустановок. При этом значительная часть перечисленных факторов имеет выраженную сезонную зависимость. Кроме того, анализ литературы показал, что отдельные исследования посвящены влиянию сезонности на число отказов в сельских электрических сетях: в них отмечается, что аварии распределяются неравномерно как по сезонам, так и по времени суток.

Существует подход к определению показателей надёжности, в котором учитывается сезонный фактор. Вместе с тем проведённое исследование показало, что тема требует дальнейшей проработки: необходимо установить, как сезонные отказы в сельских электрических сетях влияют на потери животноводческих предприятий, изучить сезонную неустойчивость во внутренних сетях самих хозяйств, а также заняться созданием оборудования для сезонного резервного электроснабжения.

1.3 Анализ сезонности отказов в системах электроснабжения сельских потребителей на примере АО ДРСК

Анализ причин отключений в сельских электрических сетях позволяет своевременно проводить эксплуатационные мероприятия для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей. Исследование литературных источников выявило отсутствие чёткой классификации причин отключений. Заполнение причин отключений в журналах происходит в свободной форме, что, в свою очередь, вносит неточность в отчётную документацию и затрудняет устранение слабых мест в системе электроснабжения потребителей. Для выявления типовых причин отключений. Был проведён анализ данных по аварийным отключениям в системах электроснабжения сельских потребителей АО ДРСК на основе анализа журналов отключений за период 2018 – 2024г [90]. Пример журнала отключений показан на рисунке 1.3.1

Амурские ЭС, АЗЭС	10 кВ	ПС 35 кВ Бузули\Ф-21	16.01.2024 15:41	16.01.2024 15:56	0:15	16.01.2024 18:32	2:51	МТЗ	ну	ну	РЗА П, РиЧПН. В пр.оп.57/42-57/47 обрыв провода сторонней техникой (трубоукладчик) ООО ССК Газрегион. В 15:56 включен до ЛР 8-21-11, без 9 ТП. В 18:32 повреждение устранено, все включено.		орг. водосн. - 2 мед. учр. - 1 школы, д/с - 5 кот. - 3 орг. связи - 9	0,95	2 658	36	-19°С, 1 м/с, Пасмурно
Амурские ЭС, АЦЭС	10 кВ	ПС 110 кВ Кооперативная\Ф-10	20.01.2024 10:11	20.01.2024 11:47	1:36	20.01.2024 12:54	2:43	МТЗ	ну	ну	РЗА ПП, РиЧПН. Лвл=11,55км Лбаза=5км.РЗА ПП; РиЧПН В 10:21 вкл В-10 Ф-10 с откл. РК-37 (запитано 18 ТП). Ограничена 1 котельная пос.ОРТПЦ . В 10:50 запитана котельная пос.ОРТПЦ от ПС Дачная по ВЛ-10 Ф-13. В 11:47 вкл. до ЛР-496 (осталось откл. 8 ТП потребитель сады). В 12:54 вкл ЛР-496, отсоединена поврежденная рез, КЛ-10 от ЛР-591 до ЛР-646, потребитель запитан.		гос. орг. - 1 угольные - 1 кот. - 1	2,05	500	64	-30°С, 2 м/с, Ясно
Амурские ЭС, АСЭС	10 кВ	ПС 220 кВ Ключевая\Ф-12	25.01.2024 15:44	25.01.2024 15:44	0:00	25.01.2024 15:44	0:00	МТО	у		РЗА ПП, РиЧПН. Осмотр запланирован 26.01.24. При осмотре ВЛ в пр.оп 5-6 обнаружена ворона.					-20°С, 2 м/с, Ясно	
Амурские ЭС, АЗЭС	10 кВ	ПС 220 кВ Февральская\Ф-13	28.01.2024 16:41	28.01.2024 16:56	0:15	28.01.2024 16:56	0:15	МТО	ну	у	РЗА ПП, РиЧПН. Повреждение проводов в пролётах № 68-69 (воздействие сторонней техникой).			0,37	380	6	-14°С, 2 м/с, Пасмурно
Амурские ЭС, АЦЭС	10 кВ	ПС 35 кВ Совхозная\Ф-7	11.02.2024 15:45	11.02.2024 18:28	2:43	11.02.2024 19:58	4:13	"земля" от КУ	-		РЗА П, РиЧПН. Лвл=2,78км, Лбаза=46км, Вкл. с откл.РТП 21-6, поврежден ОПН ф.В в ТП. В 19:58 вкл.по нормальной схеме.		гос. орг. - 2 орг. водосн. - 1 угольные и горнорудные - 1 мед. учр. - 1 школы, д/с - 3 кот. - 1 орг. связи - 5	0,32	410	7	-16°С, 0,5 м/с, Ясно
Амурские ЭС, АЦЭС	10 кВ	ПС 35 кВ Совхозная\Ф-6	12.02.2024 15:07	12.02.2024 18:03	2:56	12.02.2024 18:31	3:24	"земля" от КУ	-		РЗА П, РиЧПН. Лвл=15км Лбаза=45км, Включён с отключённым ЛР-459. Повреждение на вед. отпайке за ЛР-672		мед. учр. - 1 орг. связи - 4	0,17	158	3	0°С, 2,5 м/с, Ясно
Амурские ЭС, АСЭС	10 кВ	ПС 220 кВ Сковородино\Ф-5 ВЛ 10 кВ 5-й км	15.02.2024 13:24	15.02.2024 13:24	0:00	15.02.2024 13:24	0:00	МТЗ-1	у		РЗА ПП, РиЧПН. Осмотр выполнен 16 февраля, обнаружили падение ветки дерева в пр.опор №№31-32		орг. водосн. - 2 школы, д/с - 2 кот. - 1				-15°С, 12 м/с, Ветер
Амурские ЭС, АВЭС	10 кВ	ПС 220 кВ Завитая\Ф-7	17.02.2024 04:12	17.02.2024 04:12	0:00	17.02.2024 04:12	0:00	МТО	у		РЗА ПП, РиЧПН. Повреждение на ведомственном ТП-59		орг. водосн. - 1 кот. - 1	0,49	2 102	18	-10°С, 18 м/с, Ветер, Метель
Амурские ЭС, АСЭС	10 кВ	ПС 220 кВ Ключевая\Ф-8	17.02.2024 11:51	17.02.2024 13:55	2:04	17.02.2024 13:55	2:04	"земля" от КУ	-	не прои зв	РЗА ПП, РиЧПН. Повреждение на оп.25, ф.А разрушен изолятор. Устранено			0,30	300	11	-15°С, 15 м/с, Снег, Ветер
Амурские ЭС, АЗЭС	10 кВ	ПС 35 кВ Бузули\Ф-18	21.02.2024 02:27	21.02.2024 02:42	0:15	21.02.2024 07:33	5:06	МТЗ	ну	ну	РЗА ПП, РиЧПН. Лвл=8,3км, Лбаза=0км.Включен с отключенным ЛР 8-18-04, (Отпайка без потребителя), труднопроходимый участок. В пролете 65-66 спиленное дерево (сосна основание 24 см длина 16 м, до проводов 14,7 м) из-за охранной зоны.		орг. водосн. - 1 школы, д/с - 1 кот. - 1 орг. связи - 1	0,17	350	5	-22°С, 5 м/с, Ясно

Рисунок 1.3.1 – Журнал аварийных отключений АО ДРСК

На рисунке 1.3.2 показана диаграмма, характеризующая причины отключений в анализируемых электрических сетях.

Диаграмма причин аварийных отключений за период 2018 - 2024 г.

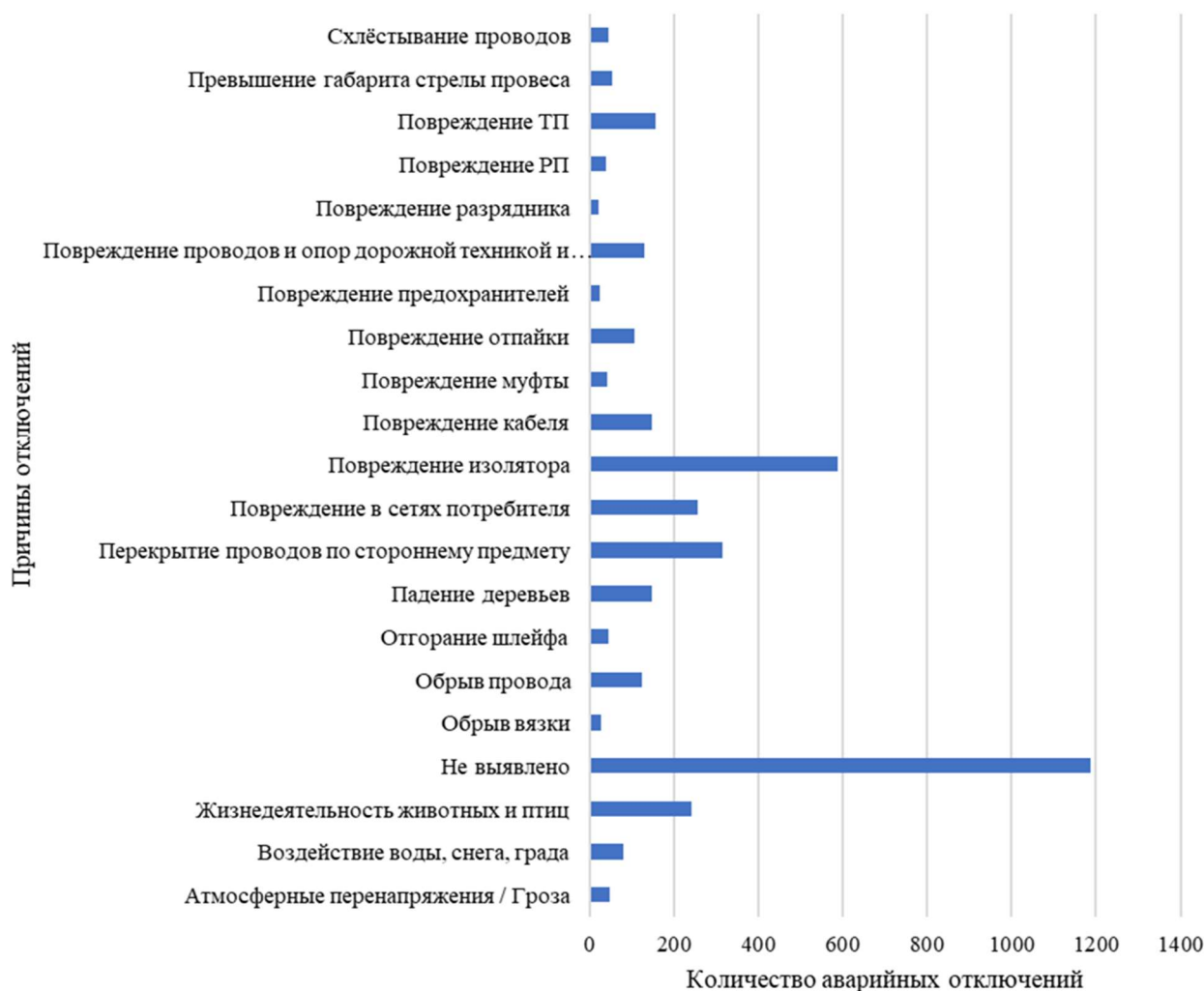


Рисунок 1.3.2 – Сводные данные по аварийным отключениям АО ДРСК

Проанализировав данные по аварийным отключениям в АО ДРСК (суммарная протяжённость сети 10 кВ составляет 12200 км), мы видим, что основной причиной отключений обозначена причина НЕ ВЫЯВЛЕНО (1187/30%), это связано с тем, что в журналах не была указана причина отключения или причина отключения не была выявлена после осмотра. Далее по количеству причиной отключений является ПОВРЕЖДЕНИЕ ИЗОЛЯТОРА

(588/15%), ПЕРЕКРЫТИЕ ПРОВОДОВ (315/8%), ПОВРЕЖДЕНИЕ В СЕТЯХ ПОТРЕБИТЕЛЯ (256/6,5%) и ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЖИВОТНЫХ И ПТИЦ (243/6,2%).

На графиках (рисунки 1.3.3 и 1.3.4) показаны диаграммы отключений по месяцам года и часам суток, включающие отключения ЛЭП 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ.

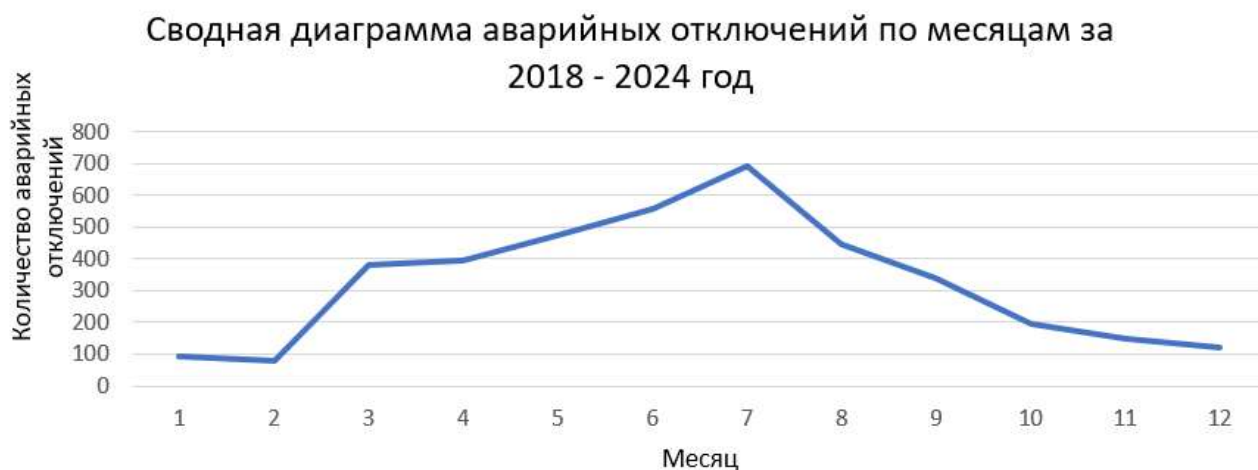


Рисунок 1.3.3 – Сводный график аварийных отключений ЛЭП 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ по месяцам за 2018 - 2024 год

Из графика на рисунке 1.3.3 следует, что на весенне-осенний период времени приходится наибольшее число аварийных отключений (апрель – август).

Анализ данных аварийных отключений по часам.

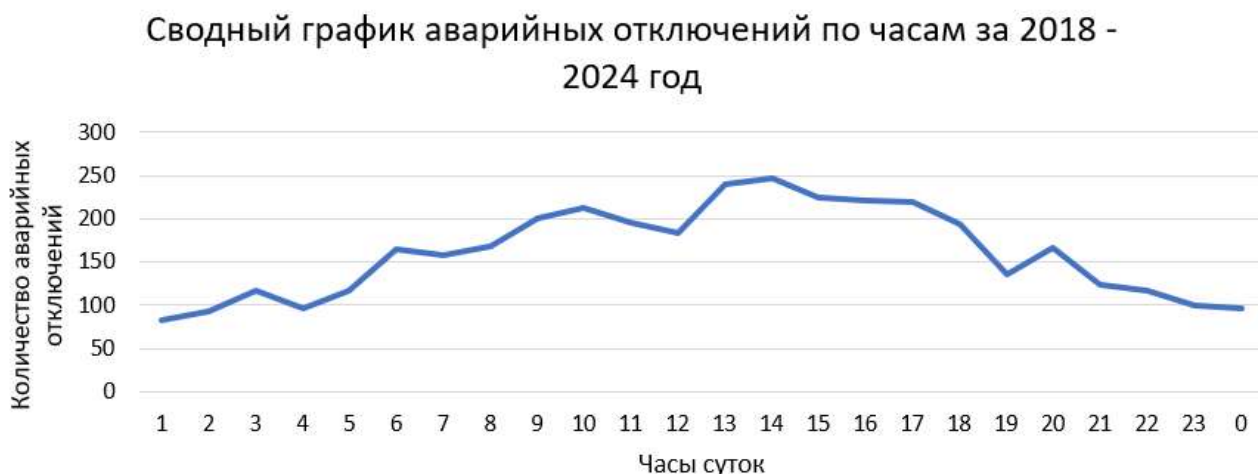


Рисунок 1.3.4 – Сводный график аварийных отключений ЛЭП 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ по часам за 2018 - 2024 год

Из графика на рисунке 1.3.4 следует, что чаще всего аварийные отключения приходятся на период 09:00 – 11:00 и 13:00 – 18:00.

Анализ рисунков 1.3.3 – 1.3.4 позволяет сделать вывод, что наибольшее количество аварийных отключений за 2018 – 2024г. приходится на период с апреля по август, а также на период времени 09:00 – 11:00 и 13:00 – 18:00.

На рисунке 1.3.5 представлен сводный график количества отключений по часам и месяцам за исследуемый период.

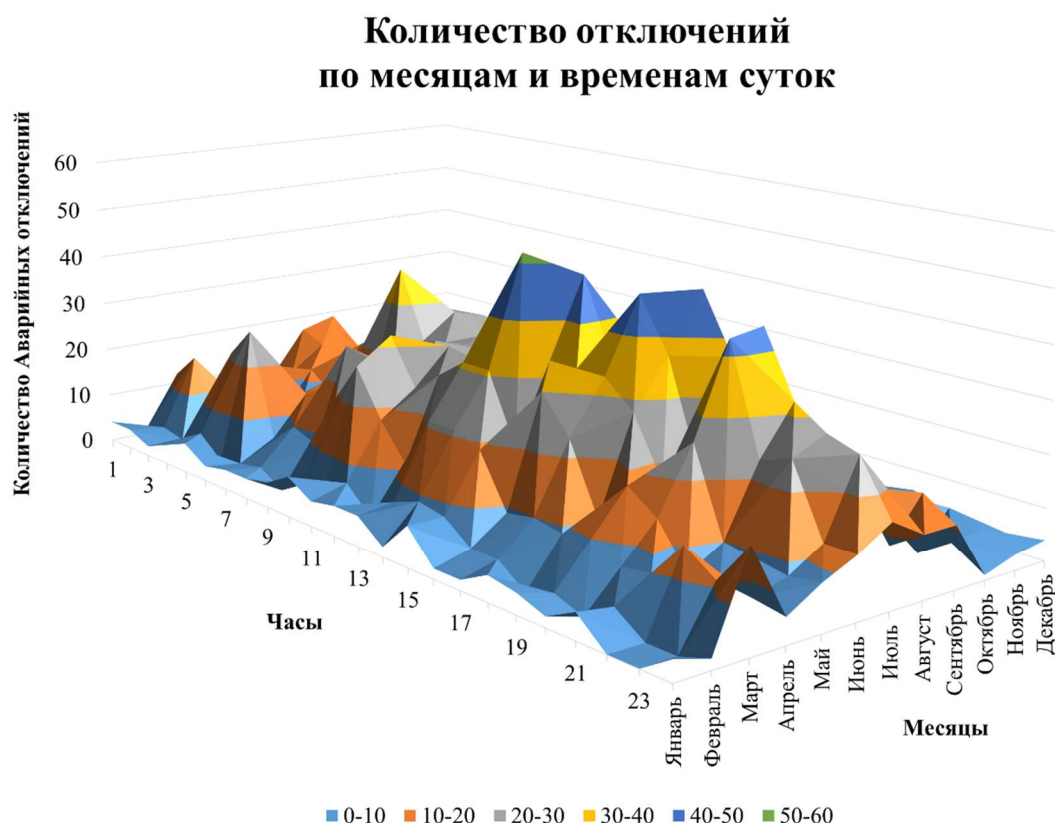


Рисунок 1.3.5 – Сводный график количества отключений по часам и месяцам за период 2018-2024 гг.

Основываясь на этих данных, мы можем предположить, что причинами увеличения количества аварий могут быть активная сезонная работа потребителей, что увеличивает нагрузку на сети, повышение температуры в атмосфере в летний период времени, приводящая к износу оборудования сетей и потребителей, погодные условия в виде дождей и ветров, которые приводят к перекрытию проводов ветками, и активная жизнедеятельность животных и птиц.

Также мы можем предположить, что увеличенное количество отключений в период с 09:00 – 11:00 и 13:00 – 18:00 в целом совпадает с утренними и вечерними максимумами нагрузки потребителей, а также их активностью.

1.4 Система базовых показателей надёжности электрических сетей для анализа журналов отключений

Все отключения разделяются на три вида: аварийные, плановые и преднамеренные (в них входят неотложные и внеплановые). В современных методиках и системах оценки показателей надёжности не существует отдельных показателей по каждому из этих видов отключений. В то же время анализ каждого вида даёт свою аналитику, позволяющую разработать меры по сокращению числа, продолжительности данных видов отключений. В связи с этим разработана система базовых показателей надёжности, адаптированная для анализа журналов отключений.

Система включает в себя следующие основные показатели:

- **Суммарное время восстановления, $T_B^{об}$, ч** – сумма времени обнаружения и устранения отказов элементов электрической сети для рассматриваемого количества отказов за заданный период времен [30]:

$$T_B^{об} = \sum_{i=1}^{n_{ав}} T_{Bi}^{об}, \quad (1.4.1)$$

где $T_{Bi}^{об}$ – время обнаружения и устранения i -го отказа элемента электрической сети (соответствует *длительности событий при аварийных отключениях* в журнале отключений);

$n_{ав}$ – количество аварийных отключений, ед. за заданный период времени.

- **Среднее время восстановления $T_B^{об.ср}$, ч** – среднее время обнаружения и устранения отказов элементов электрической сети для рассматриваемого количества отказов за заданный период времени [30]:

$$T_B^{об.ср} = \frac{T_B^{об}}{n_{ав}}, \quad (1.4.2)$$

- **Суммарное время восстановления электроснабжения, $T_{\text{в}}$, ч** – сумма времени обнаружения и устранения аварийного отключения в электрической сети с момента отключения до момента восстановления электроснабжения потребителей для рассматриваемого количества аварийных отключений за заданный период времени (определяется по сумме *длительностей перерывов в электроснабжении при аварийных отключениях в журнале отключений*) [30]:

$$T_{\text{в}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{ав}}} T_{\text{в}i}, \quad (1.4.3)$$

где $T_{\text{в}i}$ – время обнаружения и устранения i -го отказа в электрической сети с момента отключения до момента восстановления электроснабжения потребителей (соответствует *длительности перерыва в электроснабжении при i -м аварийном отключении* в журнале отключений);

$n_{\text{ав}}$ – количество аварийных отключений, ед. за заданный период времени.

- **Среднее время восстановления электроснабжения $T_{\text{в}}^{\text{ср}}$, ч** – среднее время обнаружения и устранения аварийного отключения в электрической сети с момента отключения до момента восстановления электроснабжения потребителей (*соответствует средней длительности перерывов в электроснабжении при аварийных отключениях*) для рассматриваемого количества аварийных отключений за заданный период времени [30]:

$$T_{\text{в}}^{\text{ср}} = \frac{T_{\text{в}}}{n_{\text{ав}}}, \quad (1.4.4)$$

- **Суммарное время перерывов в электроснабжении при плановых отключениях за заданный период времени, $T_{\text{пл}}$, ч** – сумма *длительности перерывов в электроснабжении* при плановых отключениях, $T_{\text{пл}i}$, ч, для рассматриваемого количества отключений за заданный период времени [30]:

$$T_{\text{пл}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{пл}}} T_{\text{пл}i}, \quad (1.4.5)$$

где $n_{\text{пл}}$ – количество плановых отключений за заданный период времени, ед.

- Среднее время перерывов в электроснабжении при плановых отключениях за заданный период времени, $T_{пл}^{ср}$, ч – среднее время перерывов в электроснабжении при плановых отключениях для рассматриваемого количества отключений за заданный период времени [30]:

$$T_{пл}^{ср} = \frac{T_{пл}}{n}, \quad (1.4.6)$$

- Суммарное время перерывов в электроснабжении при преднамеренных отключениях за заданный период времени, $T_{пр}$, ч – сумма длительности перерывов в электроснабжении при преднамеренных (неотложных и неплановых) отключениях, $T_{при}$, ч, для рассматриваемого количества отключений за заданный период времени [30]:

$$T_{пр} = \sum_{i=1}^{n_{пр}} T_{при}, \quad (1.4.7)$$

где $n_{пр}$ – количество плановых отключений за заданный период времени, ед.

- Среднее время перерывов в электроснабжении при преднамеренных отключениях за заданный период времени, $T_{пр}^{ср}$, ч – среднее время перерывов в электроснабжении при плановых отключениях для рассматриваемого количества отключений за заданный период времени [30]:

$$T_{пр}^{ср} = \frac{T_{пр}}{n}, \quad (1.4.8)$$

- Суммарное время перерывов в электроснабжении за заданный период времени по видам отключений, $T_{пер}$, ч [30]:

$$T_{пер} = T_{в} + T_{пл} + T_{пр}, \quad (1.4.9)$$

- Суммарное время плановых работ, $T_{пл,р}$, ч – сумма времени выполнения плановых работ (соответствует сумме длительности событий при плановых отключениях в журнале отключений) для рассматриваемого количества плановых отключений за заданный период времени [30]:

$$T_{\text{пл}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{пл}}} T_{\text{пл.р}i}, \quad (1.4.10)$$

где $T_{\text{пл.р}i}$ – время проведения плановых работ при i -м плановом отключении (соответствует *длительности события при i -м плановом отключении* в журнале отключений);

$n_{\text{пл}}$ – количество плановых отключений, ед. за заданный период времени.

- **Среднее время плановых работ, $T_{\text{пл}}^{\text{ср}}$, ч** – среднее время плановых работ для рассматриваемого количества плановых отключений за заданный период времени [30]:

$$T_{\text{пл.р}}^{\text{ср}} = \frac{T_{\text{пл.р}}}{n}, \quad (1.4.11)$$

- **Суммарное время работ при преднамеренных отключениях, $T_{\text{пр.р}}$, ч** – сумма времени выполнения работ при преднамеренных отключениях (соответствует *сумме длительности событий при неотложных и неплановых отключениях в журнале отключений*) для рассматриваемого количества преднамеренных отключений за заданный период времени [30]:

$$T_{\text{пр.р}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{пр}}} T_{\text{пр.р}i}, \quad (1.4.12)$$

где $T_{\text{пр.р}i}$ – время работ при i -м преднамеренном отключении (соответствует *длительности события при i -м неотложном или неплановом отключении* в журнале отключений);

$n_{\text{пр}}$ – количество преднамеренных отключений, ед. за заданный период времени.

- **Среднее время работ при преднамеренных отключениях, $T_{\text{пр.р}}^{\text{ср}}$, ч** – среднее время работ для рассматриваемого количества преднамеренных отключений за заданный период времени [30]:

$$T_{\text{пр.р}}^{\text{ср}} = \frac{T_{\text{пр.р}}}{n_{\text{пр}}}, \quad (1.4.13)$$

- **Параметр потока отказов $\omega(t)$, год⁻¹ на 100 км протяжённости линий или 100 единиц оборудования** – отношение числа отказов восстанавливаемого объекта (ЛЭП или другое оборудование) в единицу времени к общему числу наблюдаемых объектов [30]:

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^{n_{ав}} n_{авi}}{L} \cdot 100, \quad (1.4.14)$$

где $n_{авi}$ – i -й отказ (аварийное отключение) в течение рассматриваемого периода времени;

L – протяженность ЛЭП, км, или число оборудования, шт.;

$n_{ав}$ – количество аварийных отключений, ед. за заданный период времени.

- **Частота плановых отключений на 100 км сети (100 ед. оборудования) за заданный период времени, например, год, $\mu_{пл}$, год⁻¹** [30]:

$$\mu_{пл} = \frac{n_{пл}}{L} \cdot 100, \quad (1.4.15)$$

- **Частота преднамеренных отключений на 100 км (100 ед. оборудования) за заданный период времени, например, год, $\mu_{пр}$, год⁻¹** [30]:

$$\mu_{пр} = \frac{n_{пр}}{L} \cdot 100, \quad (1.4.16)$$

- **Суммарная отключенная мощность при аварийных отключениях, $P_{ав}$, МВт** – сумма отключенных мощностей при аварийных отключениях за заданный период времени [30]:

$$P_{ав} = \sum_{i=1}^{n_{ав}} P_{авi}, \quad (1.4.17)$$

где $P_{авi}$ – отключенная мощность при i -м аварийном отключении за заданный период времени, МВт.

- **Средняя отключенная мощность при аварийных отключениях, $P_{ав}^{ср}$, МВт** [30]:

$$P_{ав}^{ср} = \frac{P_{ав}}{n_{ав}}, \quad (1.4.18)$$

- **Суммарная отключенная мощность при плановых отключениях, $P_{пл}$, МВт** – сумма отключенных мощностей при плановых отключениях за заданный период времени [30]:

$$P_{пл} = \sum_{i=1}^{n_{пл}} P_{пл i} , \quad (1.4.19)$$

где $P_{пл i}$ – отключенная мощность при i -м плановом отключении за заданный период времени, МВт.

- **Средняя отключенная мощность при плановых отключениях, $P_{пл}^{ср}$, МВт** [30]:

$$P_{пл}^{ср} = \frac{P_{пл}}{n_{пл}} , \quad (1.4.20)$$

- **Суммарная отключенная мощность при преднамеренных отключениях, $P_{пр}$, МВт** – сумма отключенных мощностей при преднамеренных (неплановых и неотложных) отключениях за заданный период времени [30]:

$$P_{пр} = \sum_{i=1}^{n_{пр}} P_{пр i} , \quad (1.4.21)$$

где $P_{пр i}$ – отключенная мощность при i -м преднамеренном отключении за заданный период времени, МВт.

- **Средняя отключенная мощность при преднамеренных отключениях, $P_{пр}^{ср}$, МВт** [30]:

$$P_{пр}^{ср} = \frac{P_{пр}}{n_{пр}} , \quad (1.4.22)$$

- **Суммарная отключенная мощность за заданный период времени по всем видам отключений, P_{Σ} , МВт** [30]:

$$P_{\Sigma} = P_{ав} + P_{пл} + P_{пр} , \quad (1.4.23)$$

- **Средняя отключенная мощность за заданный период времени, $P_{\Sigma}^{ср}$, МВт** [30]:

$$P_{\Sigma}^{cp} = \frac{P_{\Sigma}}{n}, \quad (1.4.24)$$

где n – количество отключений, ед. за заданный период времени.

- **Суммарное количество аварийно-отключенных точек подключений за заданный период времени, $N_{ав}$, ед. [30]:**

$$N_{ав} = \sum_{i=1}^{n_{ав}} N_{авi}, \quad (1.4.25)$$

где $N_{авi}$ – количество аварийно-отключенных точек подключений при i -м аварийном отключении за заданный период времени, ед.

- **Среднее количество аварийно-отключенных точек подключений за заданный период времени, $N_{ав}^{cp}$, ед. [30]:**

$$N_{ав}^{cp} = \frac{N_{ав}}{n_{ав}}, \quad (1.4.26)$$

- **Суммарное количество планово-отключенных точек подключений за заданный период времени, $N_{пл}$, ед. [30]:**

$$N_{пл} = \sum_{i=1}^{n_{пл}} N_{плi}, \quad (1.4.27)$$

где $N_{плi}$ – количество планово-отключенных точек подключений при i -м плановом отключении за заданный период времени, ед.

- **Среднее количество планово-отключенных точек подключений за заданный период времени $N_{пл}^{cp}$, ед. [30]:**

$$N_{пл}^{cp} = \frac{N_{пл}}{n_{пл}}, \quad (1.4.28)$$

- **Суммарное количество преднамеренно-отключенных точек подключений за заданный период времени, $N_{пр}$, ед. [30]:**

$$N_{пр} = \sum_{i=1}^{n_{пр}} N_{при}, \quad (1.4.29)$$

где $N_{\text{при}}$ – количество планово-отключенных точек подключений при i -м преднамеренном (неотложном или неплановом) отключении за заданный период времени, ед.

- Среднее количество преднамеренно-отключенных точек подключений за заданный период времени $N_{\text{пр}}^{\text{ср}}$, ед. [30]:

$$N_{\text{пр}}^{\text{ср}} = \frac{N_{\text{пр}}}{n_{\text{пр}}}, \quad (1.4.30)$$

- Суммарное количество отключенных точек подключений за заданный период времени по всем видам отключений, N_{Σ} , ед. [30]:

$$N_{\Sigma} = N_{\text{ав}} + N_{\text{пл}} + N_{\text{пр}}, \quad (1.4.31)$$

- Среднее количество отключенных точек подключений за заданный период времени по всем видам отключений, $N_{\Sigma}^{\text{ср}}$, ед. [30]:

$$N_{\Sigma}^{\text{ср}} = \frac{N_{\Sigma}}{n}, \quad (1.4.32)$$

- Суммарный недоотпуск электроэнергии при аварийных отключениях за заданный период времени, $\Delta W_{\text{ав}}$, МВт·ч [30]:

$$\Delta W_{\text{ав}} = T_{\text{в}} \cdot P_{\text{ав}}, \quad (1.4.33)$$

- Средний недоотпуск электроэнергии при аварийных отключениях за заданный период времени, $\Delta W_{\text{ав}}^{\text{ср}}$, МВт·ч [30]:

$$\Delta W_{\text{ав}}^{\text{ср}} = \frac{\Delta W_{\text{ав}}}{n_{\text{ав}}}, \quad (1.4.34)$$

- Суммарный недоотпуск электроэнергии при плановых отключениях за заданный период времени, $\Delta W_{\text{пл}}$, МВт·ч [30]:

$$\Delta W_{\text{пл}} = T_{\text{пл}} \cdot P_{\text{пл}}, \quad (1.4.35)$$

- Средний недоотпуск электроэнергии при плановых отключениях за заданный период времени, $\Delta W_{\text{пл}}^{\text{ср}}$, МВт·ч [30]:

$$\Delta W_{\text{пл}}^{\text{ср}} = \frac{\Delta W_{\text{пл}}}{n_{\text{пл}}}, \quad (1.4.36)$$

- Суммарный недоотпуск электроэнергии при преднамеренных отключениях за заданный период времени, $\Delta W_{\text{пр}}$, МВт·ч [30]:

$$\Delta W_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} \cdot P_{\text{пр}}, \quad (1.4.37)$$

- Средний недоотпуск электроэнергии при преднамеренных отключениях за заданный период времени, $\Delta W_{\text{пр}}^{\text{ср}}$, МВт·ч [30]:

$$\Delta W_{\text{пр}}^{\text{ср}} = \frac{\Delta W_{\text{пр}}}{n_{\text{пр}}}, \quad (1.4.38)$$

- Суммарный недоотпуск электроэнергии за заданный период времени по всем видам отключений, ΔW_{Σ} , МВт·ч [30]:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{\text{ав}} + \Delta W_{\text{пл}} + \Delta W_{\text{пр}}, \quad (1.4.39)$$

- Средний недоотпуск электроэнергии за заданный период времени, $\Delta W_{\Sigma}^{\text{ср}}$, МВт·ч [30]:

$$\Delta W_{\Sigma}^{\text{ср}} = \frac{\Delta W_{\Sigma}}{n}, \quad (1.4.40)$$

- Суммарная продолжительность ремонтов (плановых, капитальных, текущих) $T_{\text{р}}$, ч – сумма продолжительности выполнения ремонтных работ, $T_{\text{р}i}$, ч, для рассматриваемого количества ремонтов за заданный период времени (может рассматриваться отдельно для планового, капитального, текущего ремонтов или совместно) [30]:

$$T_{\text{р}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{р}}} T_{\text{р}i}, \quad (1.4.41)$$

где $T_{\text{р}i}$ – время i -го ремонта, выполняемого для обеспечения или восстановления работоспособности элемента сети;

$n_{\text{р}}$ – количество ремонтов соответствующего вида, ед. за заданный период времени.

- Средняя продолжительность ремонта $T_{\text{р}}^{\text{ср}}$, ч – средняя продолжительность выполнения ремонтных работ для рассматриваемого количества ремонтов за заданный период времени [30]:

$$T_p^{cp} = \frac{T_p}{n_p}, \quad (1.4.42)$$

- **Частота ремонтов** (плановых, капитальных, преднамеренных) на 100 км сети (100 ед. оборудования) за заданный период времени, например, за год, μ_p , год⁻¹ [30]:

$$\mu_p = \frac{n_p}{L} \cdot 100, \quad (1.4.43)$$

Ниже приведены результаты анализа журналов отключений на примере электрических сетей Амурской области с применением приведённой выше системы базовых показателей надёжности. Проводился анализ данных журналов за период 2018-2024 гг. В таблице 1.4.1 приведены результаты расчёта показателей надёжности электрических сетей 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ Амурской области. Выбор сетей 10 кВ связан с тем, что, как правило, животноводческие комплексы питаются по линиям данного класса напряжения, имея на своей территории трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ. Сети и подстанции 35 и 110 кВ, от которых получают питание сети 10 кВ имеют сетевое резервирование и значимость их отключений на надёжность электроснабжения животноводческих комплексов мала. Применение собственного резервного генератора для резервного питания комплексов приводит к тому, что надёжность электроснабжения их определяется, в первую очередь, надёжностью сети 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ.

Таблица 1.4.1 – Результаты расчёта данной системы показателей надёжности электроснабжения для ЛЭП 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ

Год	Значение показателя
Аварийные отключения	
Среднее время восстановления, $T_B^{об.ср}$, ч	
2018	20.3
2019	7.49

Продолжение таблицы 1.4.1

2020	7.07
2021	6.2
2022	19.9
2023	1.62
2024	1.54
Среднее за 2018-2024	9.16
Среднее время восстановления электроснабжения, $T_{\text{в}}^{\text{ср}}$, ч.	
2018	15.91
2019	5.44
2020	2.51
2021	6.21
2022	2.04
2023	1.23
2024	0.87
Среднее за 2018-2024	4.88
Параметр потока отказов, $\omega(t)$, год⁻¹.	
2018	7.21
2019	6.43
2020	6.04
2021	4.59
2022	3.49
2023	2.54
2024	2.01
Среднее за 2018-2024	4.61

Продолжение таблицы 1.4.1

Средняя отключенная мощность при аварийных отключениях $P_{ав}^{cp}$, МВт.	
2018	0.28
2019	0.32
2020	0.18
2021	0.32
2022	0.13
2023	0.47
2024	0.6
Среднее за 2018-2024	0.36
Среднее количество аварийно-отключенных точек подключений за заданный период времени $N_{ав}^{cp}$, ед.	
2018	7.96
2019	8.58
2020	9.56
2021	10.00
2022	11.27
2023	12
2024	14.46
Среднее за 2018-2024	10.54
Средний недоотпуск электроэнергии при аварийных отключениях за заданный период времени $\Delta W_{ав}^{cp}$, МВт·ч.	
2018	5.68
2019	2.39
2020	1.27
2021	1.98
2022	2.59

Продолжение таблицы 1.4.1

2023	0.76
2024	0.92
Среднее за 2018-2024	2.23

Таким образом, показатели среднего времени восстановления, среднего времени восстановления электроснабжения, параметра потока отказов и среднего недоотпуска электроэнергии при аварийных отключениях за заданный период времени ежегодно снижаются, а показатели средняя отключенная мощность при аварийных отключениях и среднее количество аварийно-отключенных точек подключений за заданный период времени растут, что вызывает сомнения в объективности данных, особенно последних трёх лет. Тем не менее, другие данные отсутствуют, поэтому в дальнейшем будут использованы средние за исследованный период времени данные, так как использование данных последних лет может оказаться некорректным ввиду необоснованной динамики изменения показателей, которая может быть связана с изменением порядка учёта отключений и неучетом, в связи с этим, части из них. Используемые средние данные достаточно хорошо коррелируются с данными по другим регионам страны [67, 5, 27, 35, 12, 19, 68].

1.5 Анализ способов и средств повышения надёжности электроснабжения животноводческих предприятий

В современных условиях эксплуатации животноводческих предприятий ключевую роль играет обеспечение непрерывного и качественного электроснабжения. Существует ряд методов для повышения надёжности электроснабжения животноводческих предприятий.

Один из эффективных подходов — внедрение систем автоматического ввода резерва (АВР) [63]. Эти системы обеспечивают мгновенное переключение на резервный источник питания при отказе основного. В качестве резервного

источника может быть использована резервная линия электропередачи, дизель-генераторная установка (ДГУ) [61] или аккумуляторная батарея, система накопления электроэнергии (СНЭ), способная обеспечить необходимый объём электроэнергии на время перерыва в электроснабжении без вреда для производственного процесса и жизнедеятельности животных.

Применение сетевого резервирования, то есть резервной ЛЭП предусматривается, как правило, для потребителей, относящихся ко 2, или 1 категории надёжности электроснабжения.

При сетевом резервировании дополнительно предлагается применение интеллектуальных сетей (Smart Grids), обеспечивающих измерение, анализ и управление потреблением электроэнергии в реальном времени [120, 119]. Они могут реализовываться, на напряжении 0,4 кВ с применением средств сетевого секционирования и резервирования, таких, как мультиконтактные коммутационные системы, пункты секционирования [33, 38].

Кроме того, внедрение модернизированных трансформаторов [37, 7, 32] и обновление электрических подстанций улучшает качество электроэнергии и снижает риски её перебоев. Адекватное техническое обслуживание и регулярный осмотр электрооборудования позволяют заранее выявлять и устранять возможные неисправности, минимизируя время простоя системы.

Однако при отсутствии возможности сетевого резервирования в качестве резервного источника электроснабжения (РИЭ) используются ДГУ, или СНЭ. Кроме того, часто на предприятии и при наличии сетевого резервирования устанавливается ДГУ для резервирования ответственных электроприёмников.

Структурная схема резервирования с применением РИЭ, в качестве которого используется ДГУ, или СНЭ, показана на рисунке 1.4.1.

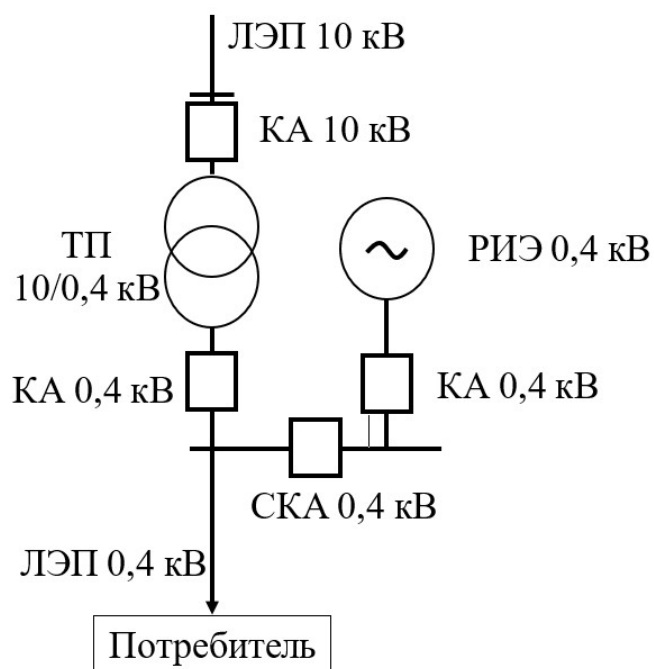


Рисунок 1.5.1 – Структурная схема резервирования с применением РИЭ, в качестве которого используется ДГУ, или СНЭ

На схеме показаны: линия электропередачи ЛЭП 10 кВ, коммутационный аппарат КА 10 кВ, трансформаторная подстанция ТП 10/0,4 кВ, коммутационные аппараты КА 0,4 кВ, секционный коммутационный аппарат СКА 0,4 кВ и резервный источник электроэнергии РИЭ 0,4 кВ.

В этом случае надёжность электроснабжения потребителя определяется надёжностью ЛЭП 10 кВ, ТП 10/0,4 кВ, КА 10 кВ, КА 0,4 кВ при питании от основного источника электроснабжения (от сети). Как правило ЛЭП 0,4 кВ имеют малую протяжённость в случае электроснабжения животноводческих комплексов, ТП находится на балансе владельца комплекса и основной вклад в количество отключений электроэнергии вносят ЛЭП 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ. Для ТП, включая КА 10 и 0,4 кВ средний поток отказов составляет 31,6 год⁻¹ на 100 шт. оборудования ТП при среднем времени восстановления 6 ч [27]. Для ЛЭП 10 кВ поток отказов, на основании проведённого для условий ДРСК условий составил в среднем 4,61 при времени восстановления 9,16 ч и времени восстановления электроснабжения 4,88 ч. При отказе как ТП, так и ЛЭП 10 кВ

резервирование питания потребителей будет осуществляться от РИЭ, то есть в рассматриваемом случае – от ДГУ.

ДГУ в данной схеме рассчитывается на всю нагрузку комплекса, если не принимаются меры по выделению ответственных электроприёмников на отдельную линию.

Применение ДГУ позволяет обеспечить резервное электроснабжение при отказе любого из элементов централизованной системы электроснабжения. При этом, как правило, выбор ДГУ производится на всю мощность комплекса с учётом его графика нагрузки, или с учётом графика нагрузки [95]. Это приводит к завышению мощности ДГУ, а, следовательно, к перерасходу энергоресурсов при её работе.

Применение методики, учитывающей график нагрузки комплекса, позволяет сократить необходимую мощность резервного источника электроснабжения [95].

Существует и методика выбора мощности ДГУ для сезонного резервирования потребителей [24], представляющая собой усовершенствованную методику, приведённую в [95]. Согласно данной методике, искомая активная мощность, $P_{РИmax}$, кВт, определяется [14]:

$$P_{РИmax} = \frac{P_{\Sigma P} \cdot k_{\Pi}}{k_{CH}} \cdot k_{ЗП} \cdot k_{ЗРН}, \quad (1.5.1)$$

где $P_{\Sigma P}$ – максимальная суммарная потребляемая мощность потребителей, которую необходимо резервировать, кВт [95, 24, 14];

k_{Π} – коэффициент, учитывающий значение потерь мощности при передаче по электрическим сетям, $k_{\Pi} = 1,01 \dots 1,05$ [95, 24, 14];

k_{CH} – коэффициент, характеризующий мощность на собственные нужды резервного источника, зависит от применяемого источника, например, для дизельных электростанций, согласно [95, 24, 14] $k_{CH} = 0,95 \dots 0,97$;

$k_{3П}$ – коэффициент запаса, характеризующий необходимое увеличение мощности резервного источника для обеспечения пуска электрооборудования с пусковыми токами, $k_{3П}=1 \dots 1,6$ (в зависимости от условий пуска) [95, 24, 14];

$k_{3РН}$ – коэффициент запаса, характеризующий необходимое увеличение мощности резервного источника для компенсации увеличения потребляемой мощности, $k_{3РН} = 1 \dots$ верхняя граница зависит от планов развития сетей, подключенных к ним потребителей и определяется с учётом планируемого роста мощности за период использования резервного источника электроснабжения до его замены (на 5-7 лет) [24, 14]. Предлагается значение $k_{3РН}$ принимать равным 1,2 с учётом роста нагрузки за срок службы генератора на 20% [14].

Максимальная полная мощность резервного источника, $S_{РИmax}$, кВА, в этом случае определяется [24, 14]:

$$S_{РИmax} = \frac{P_{РИmax}}{\cos\varphi_{ср.взв.Р}} \quad (1.5.2)$$

где $\cos\varphi_{ср.взв.Р}$ – средневзвешенный коэффициент мощности потребителей, безразм., рассчитывается [14]:

$$\cos\varphi_{ср.взв.Р} = \frac{\sum P_{РРi} \cdot \cos\varphi_{РРi}}{\sum P_{РРi}}, \quad (1.5.3)$$

где $P_{РРi}$ – активная мощность i -го резервируемого потребителя, кВт [14];

$\cos\varphi_{РРi}$ – коэффициент мощности i -го резервируемого потребителя, безразм. [14].

Существуют работы, в которых обосновывается применение ДГУ для резервирования питания только ответственных потребителей, например птицефабрик [53].

Такое подключение ДГУ может осуществляться, например, как показано в [102]. В данном способе происходит выделение ответственных потребителей при подключении их к резервной электростанции (ответственные потребители подключаются к питанию от резервной электростанции, не ответственные - не подключаются). Тем самым повышается надежность электроснабжения сельскохозяйственных потребителей при дефиците резервной мощности. Способ

требует распределения электроприёмников, или потребителей по группам на уровне подключения их к отдельным линиям электропередачи. На практике такое решение рационально исполнять на этапе проектирования и строительства. Для существующих объектов оно требует больших вложений в реконструкцию сети и строительство отдельных резервных линий электропередачи.

В приведённых выше работах не приводятся сведений о рационализации мощности ДГУ и сокращении затрат топлива и энергоресурсов при их работе, не приводятся вариантов выделения отдельных потребителей, подключенных к одной сети, для резервирования от ДГУ.

Чтобы обеспечить непрерывность и надёжность электроснабжения на животноводческих предприятиях, необходимо использовать соответствующие технические средства и системы резервного электроснабжения.

На ряду с вышеперечисленными применяются возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Это источники на основе постоянно действующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. Возобновляемая энергия присутствует в окружающей среде в виде энергии, не являющейся следствием целенаправленной деятельности человека, и это является её отличительным признаком [46]. Большинству возобновляемых источников присущ крупный недостаток – их энергия поступает непостоянно. Работающие на ней установки должны иметь либо аккумуляторы, либо установки-дублиеры, работающие на традиционном топливе, или же электрическая сеть должна иметь достаточную ёмкость и маневренность, чтобы компенсировать неритмичность работы ВИЭ [46].

Также в качестве резервных источников электроснабжения предлагаются системы накопления электроэнергии (СНЭ) [11]. СНЭ могут использоваться для поддержки работы электронного оборудования и автоматизированных систем управления. Они, в некоторых случаях, способны обеспечить питание потребителей в течение коротких перерывов в электроснабжении, их основное преимущество заключается в мгновенной реакции на отключение

электроэнергии. В электрических сетях 0,4 кВ такое решение встречается для группового резервирования электроснабжения сельских потребителей. Также СНЭ применяются для обеспечения качества электроэнергии [25]. Однако применение СНЭ не лишено проблем, отмеченных в [23, 3] и заключающихся, прежде всего, в подпитке СНЭ токов КЗ, перенапряжениях, возникающих сразу после провала напряжений и других.

Применение резервных источников электроснабжения требует и применения сетевых устройств, позволяющих выполнять переключения потребителей на резервный источник, секционировать линии, выделять и изолировать повреждённые участки сети. В линиях 10 кВ это реклоузеры, управляемые разъединители. В сетях 0,4 кВ одними из технических средств, применяемых для повышения надёжности электроснабжения, являются устройства секционирования и резервирования, в том числе мультиконтактные коммутационные системы (МКС) в линиях электропередачи 0,4 кВ с отпайками. МКС является средством секционирования и резервирования ЛЭП 0,4 кВ, которое можно применять как в схемах, содержащих один, так и два источника энергии. При этом существует несколько вариантов схем включения МКС-2-3В в ЛЭП 0,4 кВ. Выбор варианта схемы необходимо выполнять на основании сравнения получаемых от использования МКС-2-3В эффектов, заключающихся в сокращении ущерба от недоотпуска электроэнергии потребителям, сокращении объёма неоплаты за электроэнергию, сокращении затрат электросетевой организации на устранение отключений [38, 22, 28, 26].

Также можно применить устройство деления электрической сети (УДС). Устройство деления электрической сети на участки позволяет проводить секционирование линии электропередачи, обеспечивает информирование диспетчера сети об отключениях как самого устройства с указанием причин, так и о параметрах режимов работы электрической сети в точке установки устройства [44].

Однако все указанные средства также не предусматривают возможности сезонного резервирования потребителей. К таким устройствам можно отнести устройства, описанные в [76, 77, 79, 78, 31, 39]. Выбор их параметров приведён в [24].

Все указанные варианты устройств сезонного резервирования имеют прототипом мультиконтактные коммутационные системы и предназначены для группового, а не индивидуального сезонного резервирования электроприёмников, требуют перестроения системы электроснабжения.

1.6 Выводы и постановка задач исследования

Сезонность технологических процессов на животноводческих предприятиях определяется, в первую очередь, биологическими особенностями физиологического функционирования крупного рогатого скота. Она проявляется как в сезонной вариативности в различные месяцы, обусловленной необходимостью поддержания оптимальных микроклиматических условий, так и в суточных колебаниях, связанных не только с микроклиматом, но и с организацией процессов доения, кормления и других производственных операций [17]. Учет сезонных изменений технологических процессов является важным фактором при планировании режимов эксплуатации и распределения нагрузок на оборудование животноводческих предприятий, а также оказывает существенное влияние на оценку рисков и экономических потерь, связанных с перерывами в электроснабжении.

Проведённый литературный обзор свидетельствует о значительном внимании, уделяемом вопросам обеспечения надёжности электроснабжения животноводческих предприятий. В ряде исследований представлен комплексный анализ современного состояния надёжности систем электроснабжения, определены ключевые показатели, предложены методы их нормирования, а также разработаны мероприятия, направленные на повышение надёжности функционирования данных систем. Выявлены и систематизированы основные

факторы, влияющие на надёжность электроснабжения, среди которых особенно выделяются состояние питающей электросети, степень износа технологического оборудования, метеорологические условия, человеческий фактор, эффективность средств управления, уровень загрузки питающей сети, количество функционирующего оборудования и эксплуатационные условия электроустановок.

Множество рассмотренных факторов демонстрируют выраженные признаки сезонности. В литературе имеются исследования, посвящённые анализу сезонных колебаний количества отказов в сельских электрических сетях, в которых показано, что распределение отказов по временам года и часам суток является неравномерным. Существуют методики расчёта показателей надёжности с учётом сезонных вариаций. Вместе с тем, выявлена необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на уточнение влияния сезонности отказов в сельских электрических сетях на уровень ущерба животноводческим предприятиям, выявление сезонных особенностей отказов во внутренних сетях предприятий, а также на разработку оборудования для сезонного резервирования электроснабжения.

Рассмотренные методы и технические средства повышения надёжности электроснабжения имеют свои преимущества и недостатки и могут применяться в зависимости от различных условий. Однако они не рассматривают фактор сезонности технологического процесса и не учитывают возможности выделения отдельных потребителей, или электроприёмников, из числа подключенных к одной сети для резервирования. Не изучены вопросы рационализации мощности резервной ДГУ при применении средств индивидуального выделения потребителей для резервирования с учётом сезонности их работы. Поэтому актуальной является разработка программно-аппаратного комплекса для сезонного резервирования электроснабжения животноводческих предприятий.

Поставлена цель работы – рационализация мощности резервного источника электроснабжения животноводческого предприятия КРС, сокращение

энергозатрат при его использовании посредством разработки программно-аппаратного комплекса сезонного резервирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

- выполнить обоснование разработки способов и технических средств сезонного резервирования для рационализации мощности резервного источника электроснабжения животноводческого предприятия КРС, сокращения энергозатрат при его использовании;
- разработать регрессионную модель количества аварийных отключений электроэнергии в зависимости от месяца года и времени суток и методику определения вероятного ущерба животноводческих предприятий КРС от недоотпуска электроэнергии с учётом сезонности;
- разработать и обосновать способы сезонного резервирования, обеспечивающие рационализацию необходимой мощности резервного источника и снижение энергозатрат при его использовании с обеспечением требуемой надёжности электроснабжения животноводческих предприятий КРС;
- разработать программно-аппаратный комплекс для реализации способов сезонного резервирования электроснабжения животноводческих предприятий КРС;
- выполнить технико-экономическое обоснование применения разработанного программно-аппаратного комплекса сезонного резервирования электроснабжения животноводческих предприятий КРС.

2. РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ УЩЕРБА ОТ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЯМ КРС

2.1 Модель технологического процесса животноводческого предприятия КРС с учётом сезонности

Технологический процесс на предприятии КРС представляет собой непрерывный биологический конвейер, где основным средством производства являются животные со всем многообразием их индивидуальных характеристик и поведенческих реакций. В отличие от промышленных предприятий, технологический цикл здесь определяется биологическими ритмами животных, которые существенно зависят от сезона года.

Технологический процесс на животноводческой ферме КРС делится на два типа – это непрерывные и периодические процессы. Рассмотрим периодические процессы на ферме КРС:

Самым первым на ферме утром начинаются важные процессы, которые обеспечивают нормальное функционирование всего хозяйства на протяжении дня. В период с шести часов утра до восьми часов утра в телятнике проводится доение новорожденных и кормораздача молодым телятам. Этот промежуток времени является очень ответственным, так как правильное и своевременное доение и кормление способствует здоровому росту и развитию молодняка.

После завершения утренних процедур с телятами, с восьми часов утра начинается кормление дойных коров. Эта работа продолжается до полудня — с восьми до двенадцати часов, а затем возобновляется во второй половине дня в период с четырнадцати до восемнадцати часов. В это время животные получают полноценное питание, что напрямую влияет на качество и количество производимого молока.

Между этими основными кормлениями, то есть с двенадцати до четырнадцати часов, а также в утренние часы с шести до восьми утра, в телятнике

продолжают происходить процессы кормления молодого поголовья. Это позволяет поддерживать баланс кормления и обеспечивает устойчивый рост и развитие телят.

Вечером, начиная примерно с восемнадцати часов и вплоть до двадцати часов, на ферме проводится вторая по счету дойка дойных коров. Данный этап является важной частью ежедневного производственного процесса, поскольку именно он завершает основной цикл доения за сутки. Благодаря этому на ферме удастся поддерживать стабильный промышленный режим получения молока, соблюдать необходимую технологическую последовательность и обеспечивать высокое качество готовой продукции. Своевременное проведение вечерней дойки способствует равномерной нагрузке на животных, а также помогает удерживать показатели продуктивности на должном уровне.

Кроме того, с семнадцати часов вечера и до шести часов утра следующего дня включается осветительное оборудование всего комплекса фермы. Особенно важна эта система в зимний период, когда дневной свет сокращается, и рабочие процессы требуют дополнительного освещения. В зависимости от сезона время включения и выключения света может корректироваться для оптимального обеспечения работоспособности сотрудников и комфорта животных.

Помимо перечисленных, на ферме постоянно функционирует ряд технологических процессов, которые обеспечивают бесперебойную работу. К ним относятся насосы водоснабжения, которые поставляют воду в различные части фермы и в телятник, что является ключевым фактором для поддержания санитарии и удовлетворения потребностей животных. Важное место занимает хранение и первичная обработка молока, где молоко собирается, охлаждается и подготавливается к дальнейшей переработке или реализации. Незаменимым оборудованием также является отопительная система, которая поддерживает необходимый температурный режим в помещениях фермы, особенно в холодное время года, что способствует здоровью и продуктивности скота.

На основе подробной технологической карты производственных процессов, которые представлены на рисунке 1.1.1, мы получаем возможность составить полный и точный список всего оборудования, используемого на предприятии КРС. Этот список включает в себя все машины, установки и приборы, которые задействованы в технологическом цикле производства. Далее мы сможем разработать суточный график потребления электроэнергии. Такой график позволит определить, в какие именно часы суток и с какой интенсивностью происходит энергопотребление каждым видом оборудования, что в дальнейшем поможет нам выявить пиковую нагрузку на ферме и выявить время пиковых потреблений мощности. Совпадение перерыва в электроснабжении с разными фазами технологического процесса приводит к разнице в возникающих ущербах от недоотпуска электроэнергии.

Рассмотрим технологический процесс и оборудование его реализации на примере следующего объекта.

Для фермы на 400 голов с привязным содержанием и телятником характерна классическая, широко распространенная технология, детально проработанная в типовых проектах. Ниже представлена сводная характеристика на основе таких проектов и отраслевых норм.

Основные параметры и состав помещений

Типовое решение для такого поголовья обычно включает:

- **Два коровника** по 200 голов каждый (основное стадо).
- **Один телятник** на 228 голов с родильным отделением на 44 места в каждом. Это позволяет разделять молодняк по возрастным группам.
- **Два скотных двора** для молодняка старшего возраста (на 336 голов каждый).
- Вспомогательные помещения: молочный блок, ветеринарный пункт, санпропускник и служебно-бытовые помещения.

Характеристика коровника для привязного содержания

При привязном содержании каждое животное круглогодично находится на своем месте в стойле, что позволяет вести индивидуальный учет кормления и продуктивности.

- **Стойла:** Животные размещаются в индивидуальных стойлах, объединенных в ряды. Площадь стойла для коровы составляет 1,7–2,2 м² (ширина 1,0–1,2 м, длина 1,7–1,9 м). В одном ряду 50 стойл.
- **Кормление:** Раздачу кормов производит стационарный скребковый транспортер. Кормушки примыкают к передней части стойла.
- **Поение:** используются индивидуальные автопоилки, которые устанавливаются из расчета одна на две коровы.
- **Доеение:** проводится доильной установка с молокопроводом.
- **Навозоудаление:** Уборка навоза механизирована: используются скребковые транспортеры.

Характеристика телятника

- **Кормление в телятнике:** Выпойка молоком или ЗЦМ часто осуществляется через специальные системы (автоматы выпойки) или из групповых поилок с сосками. Постепенно вводятся грубые корма.
- **Поилки:** В телятниках рекомендуется устанавливать групповые термопоилки с подогревом.
- **Навозоудаление:** осуществляется с помощью скребковых транспортёров.

Системы вентиляции и отопления

- **Вентиляция:** на ферме применяется приточно-вытяжная система с осевыми вентиляторами и калориферами.
- **Отопление:** Отопление объекта осуществляется с помощью угольных печей и радиаторов. Для перекачки воды в системе применяется центробежный насос.

В таблице 2.1.1 приводится полный перечень оборудования, которое используется на указанном предприятии КРС.

Таблица 2.1.1 – Список основного оборудования, применяемого на предприятии КРС и его основные характеристики

Технологическая линия	Рекомендуемое оборудование / Параметры	Ориентировочная мощность	Количество
Доеение	Доильная установка с молокопроводом (АДМ-8А-2).	~ 15–20 кВт (суммарно: вакуум-насос ~5,5 кВт, охлаждение ~10 кВт и др.)	2
Хранение и охлаждение молока	Танк-охладитель закрытого типа (например, ТОМ) емкостью ~ 10 000-12 000 л.	~ 15 кВт (компрессорно-конденсаторный агрегат)	2
Кормление (раздача внутри коровника)	Стационарный скребковый транспортер (например, К РС-15). Производительность 15 т/ч.	~ 5,5 кВт (электродвигатель)	8
Уборка навоза	Скребковый транспортер ТСН-3Б (или аналоги). Очищает проходы за животными.	~ 4 кВт (электродвигатель)	4
Уборка навоза	Наклонный транспортер (для погрузки навоза в транспорт).	~ 1,5–3,0 кВт (электродвигатель)	2
Вентиляция и микроклимат	Приточно-вытяжная система с осевыми вентиляторами (Ц4-70)	~ 10–15 кВт (суммарно на все вентиляторы)	16
Освещение	LED-светильник мощностью 50 Вт со световым потоком 6500 Лм.	~ 1,35 кВт (суммарно на все светильники)	27
Облучение новорождённых телят	Эритемные облучатели Э01-30м (с лампой ЛЭ-30)	~ 300 Вт (суммарно на все светильники)	10
Водоснабжение	Центробежный насос Гном 50-25 Ех (380В)	~ 7,5 кВт	1
Подогрев воды в телятнике	Проточные (например, УД.35.010)	~ 11 кВт	1
Выпойка в телятнике	УПР-Ф-720 (Включает две УПМ-1000 для приготовления смеси)	Мощность нагревателей УПМ-1000: по 3 кВт	1
Отопление коровника	Lowara LNTS 80-200/220	~ 22 кВт	1
		~ 189 кВт	

Установленная мощность коровника определяется как сумма мощностей всех электроприёмников

$$P_{\text{уст}} = \sum P_i \quad (2.1.1)$$

где: $P_{\text{уст}}$ - установленная мощность коровника, кВт.

Подставляя значения в формулу 2.1.1, получаем выражение:

$$P_{\text{уст}} = 40+30+44+16+6+15+1.35+0.3+11.3+22 = 189 \text{ кВт}$$

Таким образом, установленная мощность коровника составляет 189 кВт.

Определение расчётной мощности

Для учёта неодновременности работы электроприёмников и реального режима эксплуатации вводится коэффициент спроса.

Расчётная мощность определяется по формуле:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{уст}} \cdot k_c \quad (2.1.2)$$

где: $P_{\text{расч}}$ - расчётная мощность, кВт;

$P_{\text{уст}}$ - установленная мощность, кВт;

k_c - коэффициент спроса.

Для животноводческих комплексов принимается:

$$k_c = 0.7$$

Подставляя значения в формулу 2.1.2 получаем:

$$P_{\text{расч}} = 189 \cdot 0.7 = 132,3 \text{ кВт}$$

Таким образом, расчётная мощность коровника составляет 132,3 кВт.

Определение расчётного тока

Расчет тока выполняется по ПУЭ для трёхфазных сетей и определяется для выбора кабелей и аппаратов защиты по трёхфазной сети напряжением 380 В при коэффициенте мощности $\cos\varphi = 0.85$ [49].

Формула расчёта:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}, \quad (2.1.3)$$

где: I - расчётный ток, А;

P - расчётная мощность, Вт;

U - линейное напряжение сети, В;

$\cos\varphi$ - коэффициент мощности.

Подставляя значения в формулу 2.1.3:

$$I = \frac{132300}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.85} \approx 236,5 \text{ А}$$

На основании выполненных расчётов установлено, что установленная мощность коровника составляет 189 кВт, расчётная мощность – 132,3 кВт, расчётный ток – 236,5 А.

Аналогично проводятся расчеты по другим помещениям животноводческого комплекса, и они приведены в таблице 2.1.2. Коэффициенты спроса приняты по методическим указаниям.

Таблица 2.1.2 – Результаты расчёта электрических нагрузок помещений животноводческого комплекса

№	Наименование объекта	Р _{уст} , кВт	к _с	Р _{расч} , кВт	Примечание
1	Родильное отделение	8.0	0.6	4.8	вентиляция, освещение, обогрев
2	Профилакторий	5.5	0.6	3.3	содержание телят
3	Помещение персонала	3.0	0.7	2.1	бытовые нагрузки
4	Насосная станция	7.5	0.8	6.0	скважинные насосы
5	Наружное освещение	6.0	1.0	6.0	территория комплекса

Бытовые розеточные сети учтены в составе бытовых нагрузок помещения персонала и профилактория с коэффициентом спроса и входят в расчёт установленной мощности объектов

Суммарная расчётная мощность животноводческого комплекса определяется как сумма расчётных мощностей всех зданий и сооружений комплекса.

Расчёт выполняется по формуле 2.1.4:

$$P_{\text{общ}} = \sum P_{\text{расч}}, \quad (2.1.4)$$

где: $P_{\text{общ}}$ - суммарная расчётная мощность комплекса, кВт;

$P_{\text{расч}}$ - расчётная мощность отдельных зданий и электроприёмников комплекса, кВт.

Подставляя значения в формулу 2.1.4, получаем выражение:

$$P_{\text{общ}} = 132,3 + 4,8 + 3,3 + 2,1 + 6,0 + 6,0 = 208,5 \text{ кВт}.$$

Таким образом, суммарная расчётная мощность животноводческого комплекса составляет 208,5 кВт.

Определение расчётного тока комплекса

Расчётный ток определяется для трёхфазной сети напряжением 380 В при коэффициенте мощности $\cos\varphi = 0.85$:

$$I_{\text{общ}} = \frac{208500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.85} \approx 372,7 \text{ А}.$$

Выбор мощности трансформаторной подстанции

Выбор мощности дизельного генератора при традиционном резервировании производится на основании суммарной расчётной мощности комплекса с учётом коэффициента запаса, необходимого для компенсации пусковых токов электродвигателей и возможного увеличения нагрузки [45].

Суммарная расчётная мощность комплекса составляет формула (2.1.4) 208,5 кВт.

Требуемая мощность трансформатора определяется по формуле:

$$S_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{общ}}}{\cos\varphi} \cdot k_{\text{зап}} \quad (2.1.5)$$

где: $S_{\text{тр}}$ - требуемая мощность ДГУ, кВА;

$P_{\text{общ}}$ - суммарная расчётная мощность комплекса, кВт;

$\cos\varphi$ - коэффициент мощности; $\cos\varphi=0.85$

$k_{\text{зап}}$ - коэффициент запаса. $k_{\text{зап}}=1.25$

Подставляя значения в формулу (2.1.5), получаем:

$$s_{\text{тр}} = \frac{208,5}{0,85} \cdot 1,25 = 306,6$$

По результатам расчёта принимается ближайшая стандартная мощность трансформатора:

$$s_{\text{тр}} = 400 \text{ кВА.}$$

Мощность ДГУ для комплекса, выберем по методике, приведённой в [85] и усовершенствованной в [14], приведённой выше.

Активная мощность, $P_{\text{РИmax}}$, кВт, определяется [14]:

$$P_{\text{РИmax}} = \frac{P_{\Sigma P} \cdot k_{\text{п}}}{k_{\text{CH}}} \cdot k_{\text{ЗП}} \cdot k_{\text{ЗРН}}, \quad (2.1.6)$$

где $P_{\Sigma P}=208,5$ кВт; $k_{\text{п}}$ принимаем равным 1,03; k_{CH} принимаем равным 0,96;

$k_{\text{ЗП}}$ принимаем равным 1,3; $k_{\text{ЗРН}}$ принимаем равным 1.

Тогда $P_{\text{РИmax}}$, кВт:

$$P_{\text{РИmax}} = \frac{208,5 \cdot 1,03}{0,96} \cdot 1,3 \cdot 1 = 290,8.$$

Максимальная полная мощность резервного источника, $S_{\text{РИmax}}$, кВА, в этом случае

$$S_{\text{РИmax}} = \frac{P_{\text{РИmax}}}{\cos\varphi_{\text{ср.взв.Р}}} = \frac{290,8}{0,85} = 342,1 \text{ кВА}, \quad (2.1.7)$$

где $\cos\varphi_{\text{ср.взв.Р}}$ принимаем равным 0,85 как при определении расчётной мощности комплекса.

Для резервного электроснабжения животноводческого комплекса при традиционном резервировании полной мощности принимается дизель-генераторная установка типа АД-315С-Т400-1РПМ2 мощностью 315 кВт (394 кВА). Её характеристики приведены в таблице 2.1.3.

ДГУ размещается на территории комплекса вблизи основных потребителей электроэнергии с обеспечением свободного доступа для обслуживания и соблюдением требований электробезопасности.

Таблица 2.1.3 – Основные характеристики АД-315С-Т400-1РПМ2 [98].

Постоянная мощность	315 кВт / 394 кВА
Резервная мощность	346 кВт / 471 кВА
Расход топлива при нагрузке 50%	45.2 л/ч
Расход топлива при нагрузке 75%	69.1 л/ч
Расход топлива при нагрузке 100%	91 л/ч
Емкость топливного бака	800 л

На рисунках 2.1.1 и 2.1.2 показаны суточные графики мощности рассматриваемого животноводческого предприятия КРС в летний и зимний периоды.

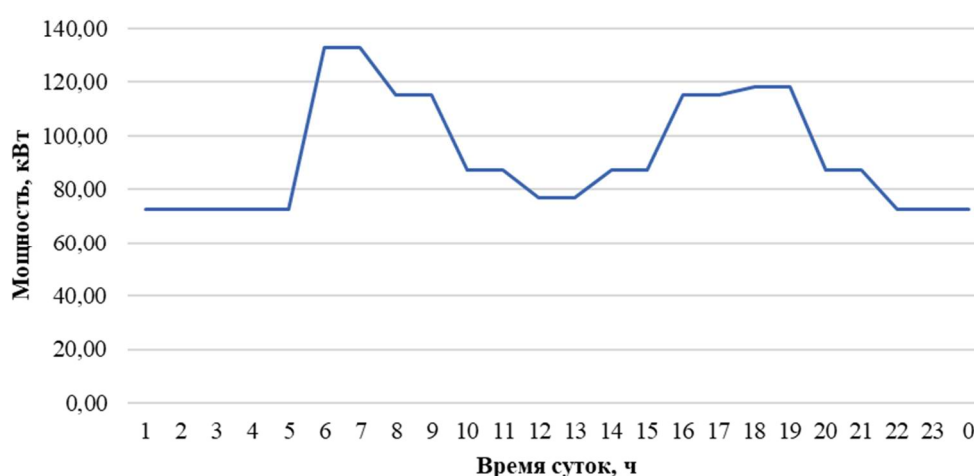


Рисунок 2.1.1 – Суточный график потребляемой мощности животноводческим предприятием КРС (ферма + телятник) в летний период времени

Анализируя приведённые в таблице мощности каждого элемента оборудования и учитывая последовательность технологического процесса, можно определить мощность, необходимую для работы всего комплекса в определённые промежутки времени. На основании этого сопоставления

составляется детальный суточный график, отражающий распределение и динамику потребляемой мощности в течение суток на предприятии КРС.

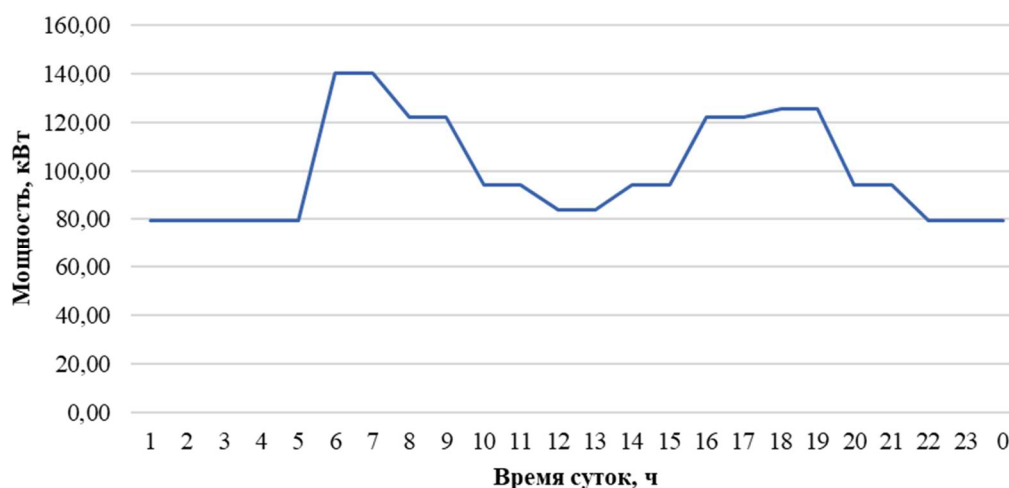


Рисунок 2.1.2 – Суточный график потребляемой мощности животноводческим предприятием КРС (ферма + телятник) в зимний период времени

Из графиков, приведённых выше, мы можем чётко видеть, что в зимний сезон потребляемая мощность значительно выше, чем в летний. Эта разница объясняется тем, что в холодное время года широко применяются нагревательные установки, такие как калориферы, которые потребляют гораздо больше электроэнергии по сравнению с вентиляционными устройствами, используемыми в летние месяцы. Калориферы обеспечивают подогрев воздуха, что требует существенных энергозатрат, в то время как летом основная нагрузка приходится на системы вентиляции, потребляющие значительно меньше мощности.

При выборе резервной мощности в традиционном подходе важно ориентироваться на наибольшую величину потребления электроэнергии, зафиксированную в течение года. Пиковое потребление энергии, как правило, наблюдается именно в зимний период, в утренние часы с 06:00 до 07:00, когда нагрузка достигает максимума и составляет 140 кВт. Этот временной интервал характеризуется повышенным использованием электрических приборов и оборудования, что обусловлено запуском производственных процессов и

необходимостью создания комфортных условий для животных и для работы сотрудников.

Мощность ДГУ для комплекса в случае способа резервирования, учитывающего график нагрузки, выберем по методике, приведённой в [95] и усовершенствованной в [14].

Активная мощность, $P_{\text{РИmax}}$, кВт, определяется [14]:

$$P_{\text{РИmax}} = \frac{P_{\Sigma P} \cdot k_{\text{п}}}{k_{\text{СН}}} \cdot k_{\text{ЗП}} \cdot k_{\text{ЗРН}}, \quad (2.1.8)$$

где $P_{\Sigma P} = 140$ кВт; $k_{\text{п}}$ принимаем равным 1,03; $k_{\text{СН}}$ принимаем равным 0,96;

$k_{\text{ЗП}}$ принимаем равным 1,3; $k_{\text{ЗРН}}$ принимаем равным 1,2.

Тогда $P_{\text{РИmax}}$, кВт:

$$P_{\text{РИmax}} = \frac{140 \cdot 1,03}{0,96} \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 234,32.$$

Максимальная полная мощность резервного источника, $S_{\text{РИmax}}$, кВА, в этом случае

$$S_{\text{РИmax}} = \frac{P_{\text{РИmax}}}{\cos \varphi_{\text{ср.взв.Р}}} = \frac{234,32}{0,85} = 275,53 \text{ кВА}, \quad (2.1.9)$$

где $\cos \varphi_{\text{ср.взв.Р}}$ принимаем равным 0,85 как при определении расчётной мощности комплекса.

Принимаем стандартную мощность ДГУ составит 312,5 кВА.

Для электроснабжения животноводческого комплекса при резервировании по графику принимается дизель-генераторная установка типа АД-250С-Т400-1РПМ11 мощностью 312,5 кВА.

Таблица 2.1.4 – Основные характеристики АД-250С-Т400-1РПМ11 [97].

Постоянная мощность	250 кВт / 312.5 кВА
Резервная мощность	275 кВт / 344 кВА
Расход топлива при нагрузке 50%	45.5 л/ч
Расход топлива при нагрузке 75%	60 л/ч
Расход топлива при нагрузке 100%	72,3 л/ч
Емкость топливного бака	800 л

2.2 Разработка вероятностной модели ущерба от недоотпуска электроэнергии животноводческим предприятиям и проверка адекватности модели

Ранее, в первой главе работы, был произведён анализ данных из журналов отключений сетей 10 кВ по Дальневосточной РСК (ДРСК). Было показано, что отключения электроэнергии имеют выраженный сезонный характер и основной вклад в отключения вносят ЛЭП 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ. Составив уравнение регрессии данных по аварийным отключениям в сетях 10кВ ДРСК, представленных на рисунках 1.3.4 – 1.3.5, мы можем получить уравнения регрессии, которые позволяют нам прогнозировать аварийные отключения по месяцам и времени суток при отказах на ЛЭП 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ.

Уравнение регрессии, позволяющее определять количество отключений в заданном месяце года, Y_m , мес⁻¹, на основании статистических данных за 2018-2024 года имеет вид:

$$Y_m = -16,163X_m^2 + 207,93X_m - 149,98, \quad (2.2.1)$$

где X_m – номер заданного месяца.

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,7996$, что показывает хороший уровень соответствия статистических данных и данных регрессионной модели.

Уравнение регрессии, позволяющее определять количество отключений в заданном часе суток, Y_{ch} , ч⁻¹, на основании статистических данных за 2018-2024 года имеет вид:

$$Y_{ch} = -1,0826X_{ch}^2 + 28,185X_{ch} + 29,893, \quad (2.2.2)$$

где X_{ch} – номер заданного часа.

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,8496$, что показывает очень хороший уровень соответствия статистических данных и данных регрессионной модели.

Регрессионные модели количества отключений по месяцам и времени суток для условий ДРСК показаны на рисунках 2.2.1 и 2.2.2 соответственно.

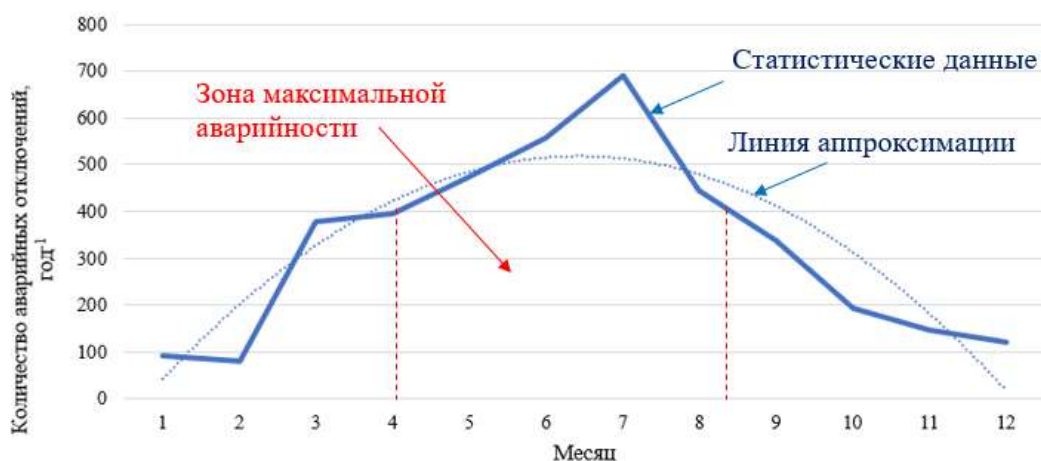


Рисунок 2.2.1 – Количество аварийных отключений по месяцам года на основании статистических данных за 2018-2024 года

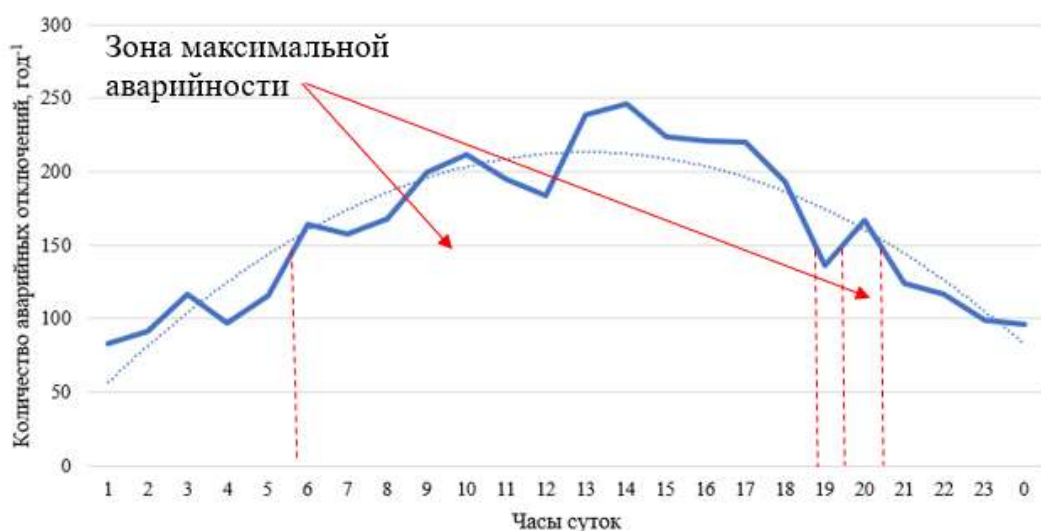


Рисунок 2.2.2 – Количество аварийных отключений по часам суток на основании статистических данных за 2018-2024 года

Также на рисунках показаны зоны максимальной аварийности, то есть месяцы (часы), в которые количество отключений максимально.

Разработана методика определения вероятного ущерба от аварийных отключений. Методика заключается в следующем.

Первым действием определяют вероятное количество отключений в заданный месяц по уравнению (2.2.1) и час (2.2.2).

Далее определяют относительную частоту отключений в заданный месяц и в заданный час по выражениям 2.23 и 2.24:

$$y_M = \frac{Y_M}{\sum n_{\text{ав.год}}} = \frac{-16,163X_M^2 + 207,93X_M - 149,98}{3913} \quad (2.2.3)$$

$$y_{\text{ч}} = \frac{Y_{\text{ч}}}{\sum n_{\text{ав.год}}} = \frac{-1,0826X_{\text{ч}}^2 + 28,185X_{\text{ч}} + 29,893}{3913} \quad (2.2.4)$$

где $\sum n_{\text{ав.год}}$ – суммарное число аварийных отключений за наблюдаемый период (в данном случае за 2018-2024 гг.) для всей рассматриваемой сети. В нашем случае это 3913 отключений.

Далее определяют относительную частоту отключений в заданный час заданного месяца всей сети, для которой собраны статистические данные (L , км), $Y_{\text{ч/м}}$, ч^{-1} :

$$Y_{\text{ч/м}} = y_{\text{ч}} \cdot y_M. \quad (2.2.5)$$

Следующим действием рассчитывают относительную вероятную частоту отключений в заданный час заданного месяца сети конкретного объекта (l , км), $Y_{\text{об.м/ч}}$, ч^{-1} :

$$Y_{\text{об.ч/м}} = \frac{Y_{\text{ч/м}} \cdot n_{\text{ав}\Sigma} \cdot l}{L}. \quad (2.2.6)$$

где $n_{\text{ав}\Sigma}$ – суммарное среднее количество отключений в год, год^{-1} . В нашем случае это 513 год^{-1} .

Далее вычисляют объём недоотпущенной электроэнергии для конкретного объекта, $W_{\text{ав.нед}}$, $\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{откл.}}$:

$$W_{\text{ав.нед}} = Y_{\text{об.ч/м}} \cdot \sum_{\text{ч}oi}^{mi} P_{Ti} \cdot T_i, \quad (2.2.7)$$

где P_{Ti} – потребляемая мощность, согласно графику нагрузки в течение времени одинаковой нагрузки при i -м отключении, кВт;

T_i – время одинаковой нагрузки при i -м отключении, ч;

$\text{ч}oi$ – час времени начала i -го отключения;

$\text{ч}mi$ – час времени окончания i -го отключения.

Сумму недоотпуска определяют с учётом каждого вероятного отключения в определённый час.

Определение $W_{\text{ав.нед}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{откл.}}}$ проиллюстрировано рисунком 2.2.3, на котором показан суточный график нагрузки в летний период времени, нанесено время начала и окончания перерыва в электроснабжении и продолжительность перерыва, равная среднему времени восстановления электроснабжения.

Число часов перерыва в электроснабжении определяют по статистическим данным, проанализировав журналы отключений. Ранее для условий ДРСК $T_{\text{в}}^{\text{ср}}$ получено значение среднего времени восстановления электроснабжения (таблица 1.4.1), $T_{\text{в}}^{\text{ср}}$, равное 4,88 ч.

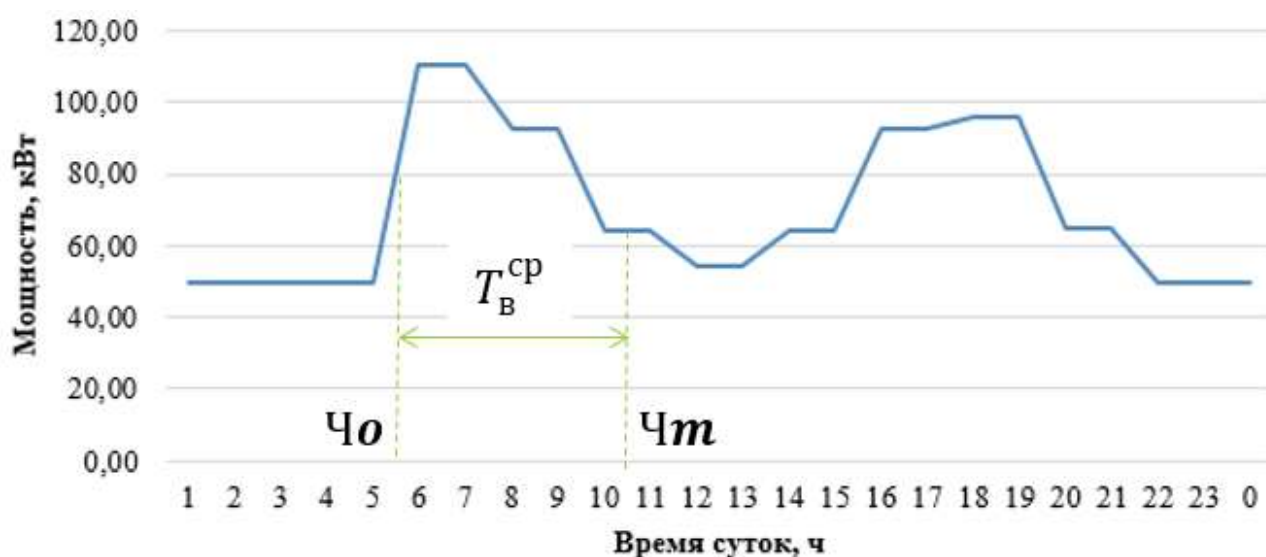


Рисунок 2.2.3 – К пояснению расчёта объёма недоотпущенной электроэнергии

Таким образом, продолжительность перерыва между Чо и Чт составляла 4,88 ч. В случае возможности определения продолжительности времени восстановления электроснабжения, характерного для конкретного часа возникновения отключения, вместо среднего времени восстановления электроснабжения рационально использовать это значение.

Далее, с учётом графика нагрузки объекта, например, приведённого на рисунке 2.1.1 для летнего времени, или 2.1.2 – для зимнего времени, определяют мощности в каждый час, в который присутствует перерыв в электроснабжении.

Таким образом, получают значение $W_{\text{ав.нед}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{откл.}}}$.

Следующим шагом определяют вероятный совокупный ущерб от недоотпуска при каждом j -м отключении, $Y_{\text{ав.нед.откл}_j}$, руб./откл.:

$$Y_{\text{ав.нед.откл}_j} = \sum_{\text{Чо}}^{\text{Чт}} W_{\text{ав.нед}_i} \cdot (Y_{\text{уд.в.нед}_i} + T_{\text{ээ}_i}), \quad (2.2.8)$$

где $T_{\text{ээ}_i}$ – тариф на электроэнергию в заданные часы, соответствующие временному интервалу от отказа до восстановления, руб./кВт · ч;

$Y_{\text{уд.в.нед}_i}$ – удельный ущерб предприятия от недоотпуска электроэнергии в заданные часы, соответствующие временному интервалу от момента отключения до восстановления, руб./кВт · ч.

Определяется вероятный годовой совокупный ущерб от недоотпуска электроэнергии для отказов в разные часы (от 1 до 8760 ч для невисокосного года), $Y_{\text{ав.нед.откл}_\Sigma}$, руб./откл.:

$$Y_{\text{ав.нед.откл}_\Sigma} = \sum_1^{8760} Y_{\text{ав.нед.откл}_j}, \quad (2.2.9)$$

На рисунке 2.2.4 показан, для примера, график вероятного совокупного ущерба от недоотпуска при каждом j -м отключении, рассчитанный для рассмотренного предприятия, содержащего ферму КРС и телятник.

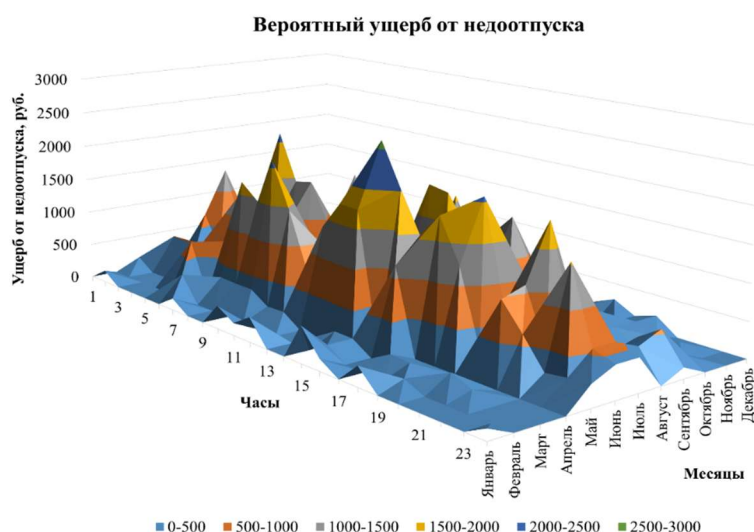


Рисунок 2.2.4 – Вероятный ущерб, рассчитанный для рассмотренного предприятия, содержащего ферму КРС и телятник

Из графика на рисунке 2.2.4 следует, что неравномерность количества отключений по месяцам и времени суток приводит к неравномерности ущербов от перерывов в электроснабжении животноводческих предприятий.

Вероятный годовой совокупный ущерб от недоотпуска энергии, рассчитанный по приведённой методике для рассмотренного предприятия КРС составляет 123165,5 руб. при неизменном в течение суток тарифе $T_{э\text{э}} = 7$ руб./кВт·ч и равномерном удельном ущербе $Y_{\text{уд.в.нед}} = 250$ руб./кВт·ч вне зависимости от времени возникновения перерыва в электроснабжении.

Значение ущерба 250 руб./кВт·ч принято по источнику [103] с учётом современной стоимости условных единиц стоимости (доллар).

Определить удельный ущерб можно и по другим источникам. Так, значение ущерба для предприятий КРС составляет, в ценах 1991 года 1,8 руб./кВт·ч для молочных ферм и 3,1 руб./кВт·ч для предприятий по откорму [88]. В переводе на текущие цены это соответствует 293 и 540,5 руб./кВт·ч (рассчитано с применением [59] и учётом деноминации в 1998 году).

При наличии необходимой информации следует также учитывать значимость перерывов в определённые часы для технологического процесса предприятия. Она различна, так как, например, отключение доильного оборудования в момент дойки приводит к стрессу животных, недополучению молока, способствует развитию мастита и, соответственно, влечёт значительный ущерб. В то же время отключение навозоуборочного транспортёра, или другого оборудования имеет меньшие негативные последствия. К сожалению, соответствующие современные исследования, позволяющие выявить значимость совпадения времени перерыва в электроснабжении с технологическим процессом отсутствуют. Наиболее близкие исследования проведены в [56]. Согласно данному источнику соотношение ущербов, возникающих во время дойки и во время уборки навоза, раздачи кормов и других механизированных операций составляет 3/1. Соотношение времени дойки к другим процессам составляет 4/20

исходя из того, что на дойку тратится 4 часа в сутки и в течение других 20 часов выполняются другие операции (рисунок 1.1.1).

Также существуют подходы к оценке ущербов через потери продукции, основанные на анализе статистических данных. Наиболее полный анализ приведён в [82]. Так, согласно [82] недоотпуск продукции на молочных предприятиях 400 годов и более при перерывах электроснабжения более 3,5 ч (в нашем случае перерыв составляет 4,88 ч), можно определить по формуле:

$$y_{\tau} = -16,885 + 5,881 \cdot \tau, \quad (2.2.10)$$

где τ – время перерыва в электроснабжении, ч.

В нашем случае τ следует приравнять к среднему времени восстановления электроснабжения [75], $T_{\text{в}}^{\text{ср}}$, равному 4,88 ч. В этом случае недовыпуск продукции составит 11,81%. После оценки стоимости недоотпущенной продукции может быть получено значение ущерба. Однако при данном подходе также не учитывается совпадение технологического процесса и времени перерыва в электроснабжении.

Снизить ущербы возможно за счёт применения способов сезонного резервирования, учитывающих особенности времени работы технологического оборудования.

3. РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ СОКРАЩЕНИЯ УЩЕРБА ОТ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЯМ С УЧЁТОМ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ УЩЕРБА

3.1. Разработка способов сезонного резервирования электроснабжения

Представленная выше информация демонстрирует, что технологические процессы на ферме, а также аварийные отключения электроэнергии обладают ярко выраженной сезонной зависимостью. Это означает, что вероятность возникновения аварий и нарушений в электроснабжении варьируется в зависимости от времени года, что связано с изменениями в климатических условиях, хозяйственной деятельности и эксплуатационных особенностях оборудования. Возникновение аварии в определённое время года и даже в определённый период суток могут иметь существенно различные последствия для предприятия по разведению крупного рогатого скота (КРС). Например, отключение электроэнергии в зимний период, когда температурные показатели значительно ниже, может привести к замерзанию воды, нарушению работы системы отопления и, как следствие, к ухудшению условий содержания животных. В то же время аварии в летние месяцы могут вызывать сбои в системе вентиляции и охлаждения, что также негативно сказывается на здоровье и продуктивности животных, а также нарушение работы танкера-охладителя приводит к порче молочной продукции.

Надежность электроснабжения является ключевым фактором устойчивого функционирования современного агропромышленного комплекса и объектов сельской инфраструктуры. В условиях цифровой трансформации и роста зависимости от электроэнергии даже кратковременные перерывы в питании могут приводить к значительным экономическим убыткам, сбоям в работе критической инфраструктуры и технологическим нарушениям [74, 111]. Особую остроту эта проблема

приобретает в условиях дефицита генерирующих мощностей, при возникновении аварийных ситуаций в сетях, что делает необходимым использование резервных источников электроснабжения (РИЭ).

Традиционные методы резервирования, основанные на строительстве дублирующих линий электропередачи и установке мощных резервных источников питания, сопряжены с высокими капитальными затратами и не всегда экономически оправданы, особенно в распределительных сетях низкого и среднего напряжения [110]. Кроме того, рост нагрузок и усложнение структуры электропотребления требуют перехода к более гибким и интеллектуальным решениям [42]. Развитие концепции интеллектуальных энергетических систем открывает новые горизонты для решения этих проблем. Интеграция современных средств автоматизации, информационно-коммуникационных технологий и систем управления позволяет перейти от пассивного потребления к активному управлению нагрузкой [104, 30]. Одним из ключевых инструментов в арсенале Smart Grid является управление спросом, которое дает возможность целенаправленно воздействовать на потребителей для оптимизации режимов работы энергосистемы [109, 115].

Основной задачей при переходе на резервное электроснабжение является обеспечение питания наиболее ответственных потребителей в условиях ограниченной мощности РИЭ, таких как дизель-генераторные установки или аккумуляторные батареи [108, 118, 33, 105, 66].

Превышение нагрузкой номинальной мощности РИЭ может привести к его аварийному отключению и полному обесточиванию всех подключенных к РИЭ потребителей. Для предотвращения подобных ситуаций в мировой практике активно развиваются методы управления спросом и, в частности, технологии автоматического отключения нагрузки [114, 116].

Применяются различные методы и алгоритмы автоматического сброса нагрузки (АСН), которые на основе статических или динамических приоритетов

отключают второстепенных потребителей для сохранения электроснабжения наиболее ответственных объектов [107].

Однако применяемые подходы к приоритизации зачастую не учитывают динамический характер значимости потребителей. Критичность того или иного потребителя может существенно изменяться в зависимости от времени суток, дня недели и, что особенно важно, сезона года. Например, нагрузка систем кондиционирования является приоритетной в летний период, в то время как зимой её значимость минимальна. Недостаточная гибкость систем приоритизации приводит либо к необоснованному отключению временно важных потребителей, например, животноводческих объектов, либо к неэффективному использованию ресурсов РИЭ [89, 50].

Традиционные подходы к управлению нагрузкой в аварийных режимах зачастую основываются на контроле общих параметров сети, таких как частота и напряжение [117]. Однако с развитием концепции «умных сетей» (Smart Grids) появляются более гибкие и интеллектуальные решения. Эти решения используют данные с интеллектуальных приборов учета и развитые каналы связи для динамического управления нагрузкой на основе заранее определенных сценариев и приоритетов [112, 113].

В российской научной школе также уделяется значительное внимание разработке алгоритмов для автоматизированных систем управления, направленных на повышение живучести и надежности систем электроснабжения. Исследования ведутся в области создания многоагентных систем управления [9, 8] и адаптивных алгоритмов, учитывающих изменяющиеся условия и приоритетность потребителей [65, 13].

Одним из эффективных методов распределения доступной мощности между потребителями являются способы сезонного резервирования, которые показаны в [17, 31]. Однако существенным недостатком данных способов является отсутствие механизма контроля нагрузки РИЭ, что не исключает риска его перегрузки при одновременном подключении нескольких

приоритетных потребителей, а также то, что данные способы не позволяют осуществлять индивидуальное выделение потребителей, или электроприёмников для сезонного резервирования если они подключены к одной сети. В связи с этим, разработка способов и адаптивных алгоритмов, способных осуществлять динамическое, сезонное резервирование на основе изменяемых временных и календарных уставок, является перспективной научной задачей. Такой подход позволяет создать гибкую систему управления, которая maximизирует полезный отпуск электроэнергии от РИЭ и повышает общую надежность электроснабжения группы разнородных потребителей без необходимости их физического разделения по разным линиям. Гипотеза исследования заключается в том, что подключение потребителей к резервному источнику электроснабжения на основе алгоритма приоритизации по значимости для технологического процесса, а также по календарной дате и времени суток, с возможностью адаптации при изменении состава потребителей и возврата к нормальному режиму при возобновлении работы основного источника электроснабжения позволяет рационально использовать мощность резервного источника. Контроль загрузки РИЭ и обеспечение возможности управления его загрузкой дополнительно позволит повысить надёжность потребителей при питании от РИЭ. Ниже приведены разрабатываемые способы и алгоритмы их реализации.

3.1.1 Способ сезонного резервирования электроснабжения потребителей, подключенных к одной сети

Базовым разрабатываемым способом сезонного резервирования является приведённый ниже способ сезонного резервирования электроснабжения потребителей, подключенных к одной сети в условиях дефицита мощности резервного источника питания. Данный способ, на который получен патент [80], позволяет оптимизировать использование ограниченных ресурсов резервного электроснабжения. Под потребителями в данном контексте могут пониматься как группы электроприёмников, так и отдельные устройства. Блок-схема устройства

реализации способа представлена на рисунке 1, на котором основной источник электроснабжения обозначен как ОИЭ, резервный источник электроснабжения — как РИЭ, блок управления сезонным резервированием — БУСР, управляемые коммутационные аппараты — $УКА_{П1}$ – $УКА_{Пn}$, модули мониторинга и управления — ММИУ1–ММИУ n , потребители — П1–П n , и канал связи — КС, блок автоматического ввода резерва АВР.

В качестве УКА могут использоваться магнитные пускатели, контакторы, в том числе вакуумные, в зависимости от коммутируемой мощности. ММИУ представляют собой микроконтроллерные модули, оснащённые датчиками тока и напряжения, реле, средствами приёма и передачи данных по КС. В качестве канала связи может использоваться оптическое волокно, WiFi, LoraWan, JSM. Могут применяться и другие варианты организации каналов связи. В соответствии с принимаемым вариантом ММИУ оснащаются соответствующим средством приёма и передачи данных. ММИУ осуществляют мониторинг тока и напряжения, а также отключение и включение соответствующих УКА при поступлении команд от БУСР за счёт разрыва, или соединения цепи питания катушки УКА.

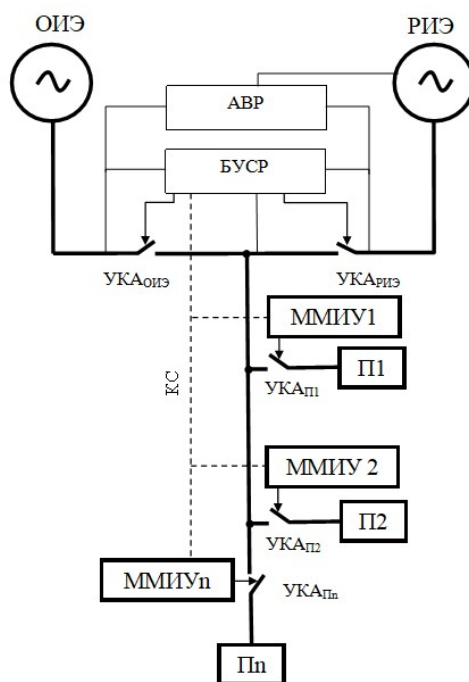


Рисунок 3.1.1 – Структурная схема реализации способа сезонного резервирования электроснабжения потребителей, подключенных к одной сети

Рассматриваемый способ реализуется в следующей последовательности, с учётом выстраивания приоритизации потребителей:

- Определение приоритетности потребителей: на первом этапе задаются потребители, подлежащие резервированию, на основании их необходимости в электроснабжении с учетом календарной даты и времени суток.

- Мониторинг условий: осуществляется непрерывный контроль календарной даты, времени суток и состояния основного источника электроснабжения.

- Переключение при отключении ОИЭ: при отключении основного источника электроснабжения (ОИЭ) блок АВР запускает РИЭ, а блок управления определяет потребителей, электроснабжение которых необходимо резервировать, и тех, чьё электроснабжение не требуется. Это определение происходит в соответствии с текущими календарной датой и временем суток.

- Управление подключением потребителей: потребители, электроснабжение которых не требуется резервировать, отключаются от сети, и их повторное подключение блокируется. Потребители, чьё электроснабжение подлежит резервированию, подключаются к резервному источнику электроснабжения (РИЭ).

- Адаптация при изменении состава потребителей: если в течение периода отключения основного источника электроснабжения происходит изменение в составе потребителей, нуждающихся в резервировании, или не нуждающихся в нём (в соответствии с текущими календарной датой и временем суток), осуществляется оперативная корректировка. Потребители, которым резервирование более не требуется, отключаются от сети и блокируются. Потребители, которым резервирование необходимо, подключаются к резервному источнику электроснабжения.

- Возврат к нормальному режиму: при возобновлении работы основного источника электроснабжения снимается блокировка подключения потребителей к сети, и все потребители вновь подключаются к ОИЭ.

На рисунке 3.2 представлен алгоритм работы устройства, предназначенного для сезонного резервирования электроснабжения потребителей, подключенных к одной сети. В нормальном режиме функционирования алгоритм последовательно выполняет цикл по блокам 1, 2, 3, 4, 5, 6.

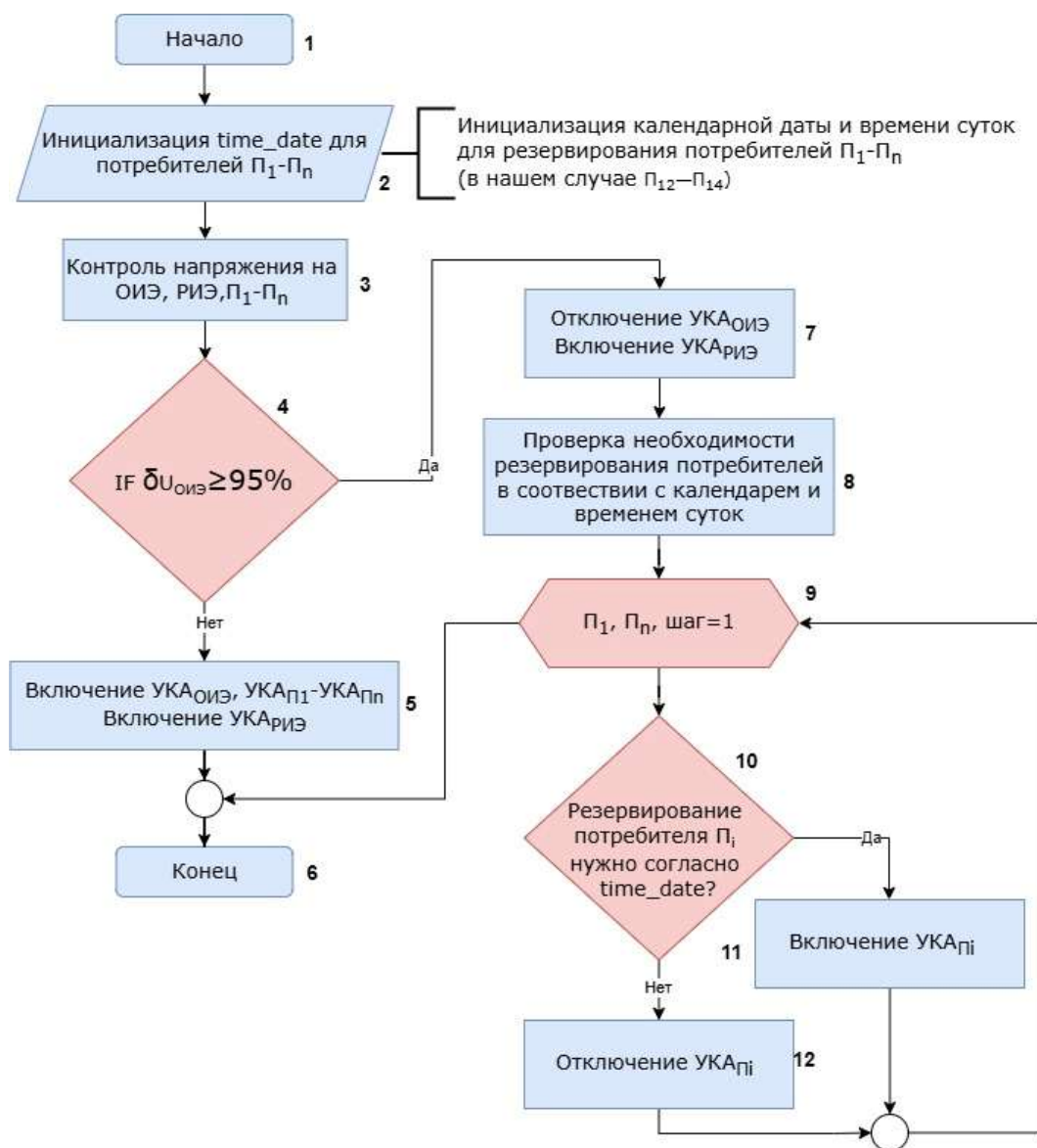


Рисунок 3.1.2 – Алгоритм работы устройства сезонного резервирования электроснабжения потребителей, подключенных к одной сети

Запуск алгоритма осуществляется из начальной точки, обозначенной как «Начало» (блок 1). После старта производится инициализация календарной даты и времени суток для каждого потребителя (от P_1 до P_n) в отдельности, определяя

необходимость их резервирования (блок 2). Контроль напряжения (блок 3) осуществляется в точках подключения основного источника электроснабжения (ОИЭ), резервного источника электроснабжения (РИЭ) и непосредственно у потребителей (П1-Пn). В условиях нормального режима работы, то есть при отсутствии прерывания напряжения в точке подключения ОИЭ, условие блока 4 не выполняется. Соответственно, сигналы, поступающие от блока 5 на управляемые коммутационные аппараты (УКА) для включения ОИЭ, всех потребителей и отключения РИЭ, остаются неизменными.

В случае фиксирования прерывания напряжения в блоке 4, что означает отклонение напряжения более чем на 95% от опорного значения (согласно ГОСТ 32144-2013) [49], устройство переходит в режим активации резервного источника питания. В этом случае через блок 7 подаются управляющие сигналы на УКА для отключения основного источника напряжения и включения резервного источника напряжения. Одновременно с этим выполняется проверка необходимости резервирования для каждого потребителя (блок 8) в соответствии с ранее заданным календарным планом и временем, инициализированными в блоке 2.

Проверка необходимости резервирования осуществляется в рамках безусловного цикла, начиная с первого потребителя (П1) и заканчивая последним (Пn) (блок 9). В теле цикла последовательно выполняются блоки 10, а затем либо 11, либо 12, в зависимости от результата проверки условия в блоке 10. Условие в блоке 10 проверяет, требуется ли резервирование для текущего потребителя (Pi). Если такая необходимость подтверждается, подается команда на включение соответствующего коммутационного аппарата для этого потребителя (блок 11). Если же необходимость в резервировании отсутствует, выполняется отключение УКА данного потребителя (блок 12). По завершении проверки каждого потребителя алгоритм выходит из безусловного цикла и переходит к ограничителю «Конец» (блок 6).

При возникновении ситуации, когда в период работы резервного источника питания происходит изменение календарного плана или времени резервирования для какого-либо потребителя, единственным изменением в вышеописанном цикле будет подача соответствующего сигнала в теле безусловного цикла 9. Это приводит к немедленному отключению или включению рассматриваемого потребителя в соответствии с новыми установками.

В случае, если модуль мониторинга и управления фиксирует восстановление подачи питания от основного источника электроснабжения, условие в блоке 4 перестает выполняться. В результате происходит автоматическое включение управляемых коммутационных аппаратов для ОИЭ и всех потребителей, независимо от ранее установленного календарного плана и времени резервирования, а также отключение РИЭ.

Разработанный алгоритм, интегрированный в устройство, реализующее описанный способ, позволяет достичь обеспечение сезонного резервирования электроснабжения потребителей, подключенных к одной сети, без необходимости прокладки дополнительных резервных линий. Это существенно повышает надежность электроснабжения. Важным преимуществом является отсутствие необходимости группировки потребителей по уровню ответственности и их подключения к отдельным сетям. В предлагаемом способе приоритизация по значимости для технологического процесса осуществляется с учётом календарной даты и времени суток, а потребители подключаются к основной, а не резервной линии питания. При изменении перечня потребителей, которых необходимо резервировать, в соответствии с датой и временем суток, выполняется адаптация состава включенных/отключенных потребителей. Те потребители, которых резервировать в эту дату и время суток не требуется, отключаются, те, которых резервировать требуется – подключаются. При возобновлении работы основного источника электроснабжения выполняется автоматический возврат к нормальному режиму работы схемы. Всё это позволяет рационально использовать мощность резервного источника. Применение

предложенных способа, устройства и алгоритма его работы способствует повышению надежности электроснабжения потребителей в условиях дефицита мощности резервного источника. Кроме того, это расширяет функциональные возможности методов сезонного резервирования, обеспечивая возможность осуществления резервирования для потребителей, подключенных к одной сети, с учетом их индивидуальных потребностей в резервировании на основе календарной даты и времени суток.

3.1.2 Способ сезонного резервирования электроснабжения потребителей с контролем нагрузки

Вторым разработанным способом является способ сезонного резервирования электроснабжения потребителей с контролем нагрузки [81]. Его особенность в том, что он обеспечивает возможность контроля загрузки РИЭ и отключение части нагрузки при его перегрузке. Это предотвращает отключение всех потребителей, подключенных к РИЭ, и сохраняет ресурс РИЭ.

Блок-схема устройства реализации данного способа сезонного резервирования электроснабжения потребителей с контролем нагрузки представлена на рисунке 3.3 [81]. Блок-схема состоит из основного источника электроснабжения (ОИЭ) и резервного источника электроснабжения (РИЭ), управляемых блоком управления сезонным резервированием (БУСР). Переключение между источниками и управление нагрузками осуществляется с помощью управляемых коммутационных аппаратов (УКАП1-УКАП6), мониторинг и управление системой обеспечивается модулями мониторинга и управления (ММИУП1-ММИУП6). Электроснабжение подается к потребителям (П1-П6), при этом все компоненты взаимодействуют через канал связи (КС), что позволяет эффективно управлять подачей электроэнергии в зависимости от сезона и контролировать нагрузку [20].

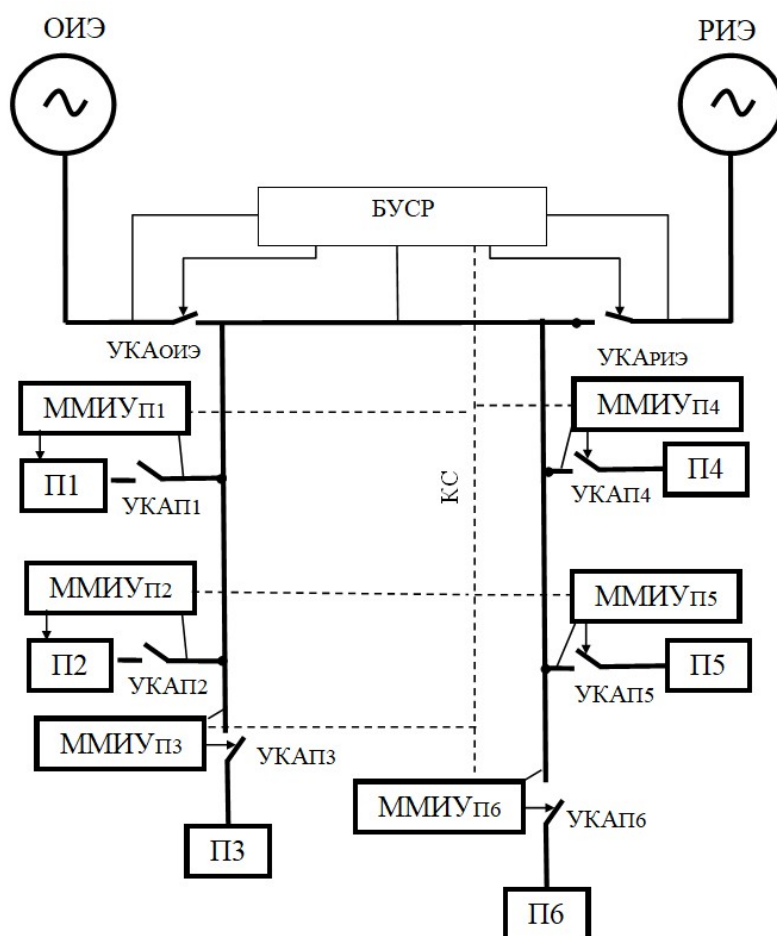


Рисунок 3.1.3 – Структурная схема реализации способа сезонного резервирования электроснабжения потребителей с контролем нагрузки [20].

Работа устройства базируется на централизованном управлении от блока БУСР, который функционирует согласно заданным параметрам: номинальной мощности РИЭ, а также спискам потребителей с определенными приоритетами и графиками резервирования. Рассматриваемый способ реализует следующие этапы [20]:

- *обнаружение аварии и переход электроснабжения на РИЭ.* При пропадании напряжения на вводе от ОИЭ, БУСР инициирует переключение на РИЭ. Одновременно, в соответствии с текущей датой и временем, формируется команда для ММИУ на подключение к сети только тех

потребителей, резервирование которых является в данный момент необходимым.

- *динамическое управление нагрузкой РИЭ.* После перехода на резервный источник, БУСР непрерывно контролирует его нагрузку, агрегируя данные о мощности, получаемые от ММИУ каждого потребителя. Если суммарная мощность превышает номинальную мощность РИЭ, БУСР идентифицирует потребителей с наименьшим приоритетом и отключает их до тех пор, пока нагрузка не снизится до приемлемого уровня. Если нагрузка на РИЭ снижается, создавая резерв, система может повторно подключить ранее отключенных потребителей в порядке возрастания их приоритета.
- *возврат в штатный режим.* При восстановлении питания от ОИЭ, БУСР фиксирует появление напряжения, отключает РИЭ и переводит всех потребителей (включая отключенных в процессе управления нагрузкой) на основной источник питания [20].

Система также обеспечивает адаптацию к изменяющимся требованиям по резервированию в течение времени работы от РИЭ, динамически изменяя состав подключенных потребителей в соответствии с заложенными в БУСР графиками.

На рисунке 3.4 представлен алгоритм работы устройства, предназначенного для сезонного резервирования электроснабжения потребителей с контролем нагрузки. В нормальном режиме функционирования алгоритм последовательно выполняет цикл по блокам 1, 2, 3, 4, 5, 6 [20].

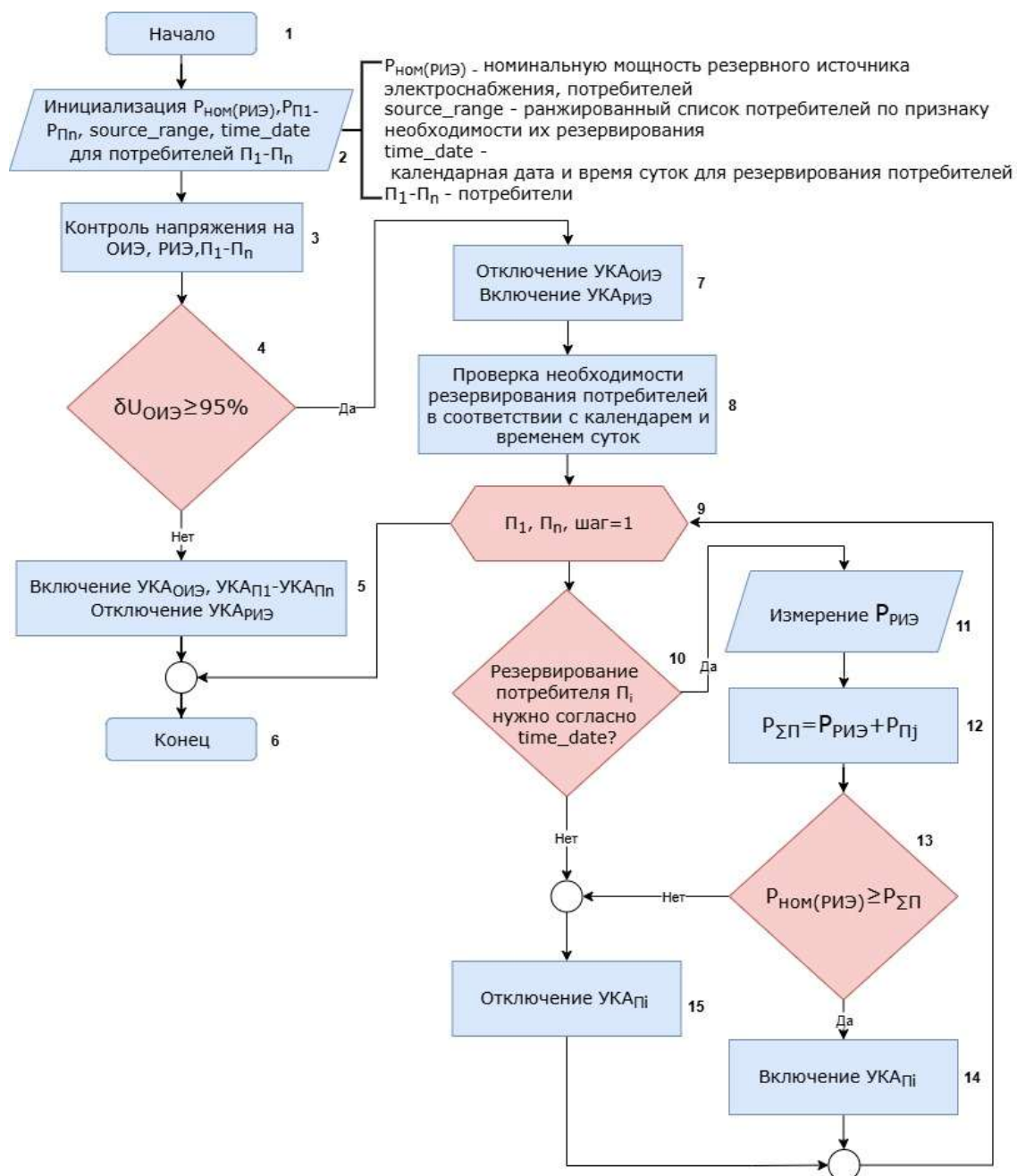


Рисунок 3.1.4 – Алгоритм работы устройства сезонного резервирования электроснабжения потребителей с контролем нагрузки [20].

Запуск алгоритма осуществляется из начальной точки, обозначенной как «Начало» (блок 1). После старта производится инициализация номинальных мощностей резервного источника электроснабжения и каждого потребителя (от $П_1$ до $П_n$). Составляется ранжированный список потребителей $П_1-П_n$ по признаку необходимости их резервирования с точки зрения категории надёжности электроснабжения, а также календарной даты и времени суток, когда

их необходимо резервировать (блок 2). Контроль напряжения (блок 3) осуществляется в точках подключения основного источника электроснабжения (ОИЭ), резервного источника электроснабжения (РИЭ) и непосредственно у потребителей (П1-Пn). В условиях нормального режима работы, то есть при отсутствии прерывания напряжения в точке подключения ОИЭ, условие блока 4 не выполняется. Соответственно, сигналы, поступающие от блока 5 на управляемые коммутационные аппараты (УКА) для включения ОИЭ, всех потребителей и отключения РИЭ, остаются неизменными [20].

В случае фиксирования прерывания напряжения в блоке 4, что означает отклонение напряжения более чем на 95% от опорного значения (согласно ГОСТ 32144-2013 [49]), устройство переходит в режим активации резервного источника питания. В этом случае через блок 7 подаются управляющие сигналы на УКА_{ОИЭ} для отключения ОИЭ и на УКА_{РИЭ} для включения РИЭ. Одновременно с этим выполняется проверка необходимости резервирования для каждого потребителя (блок 8) в соответствии с ранее заданным календарными датой и временем суток, а также категорией надёжности, инициализированными в блоке 2 [20].

В начале производится проверка необходимости резервирования в рамках безусловного цикла, начиная с первого потребителя (П1) и заканчивая последним (Пn) (блок 9), при этом проверка потребителей производится согласно заранее инициализированному списку значимости потребителей. В теле цикла последовательно выполняются блок 10, а затем в зависимости от результата проверки условия в нем либо блок 15, либо 11,12,13,14. (последний выполняется при соблюдении условий блока 13). Условие в блоке 10 проверяет, требуется ли резервирование для текущего потребителя (Pi) согласно календарной дате и времени суток. Если такая необходимость подтверждается, то подается команда на включение соответствующего коммутационного аппарата для этого потребителя (блок 14). Если же необходимость в резервировании отсутствует, УКА данного потребителя не включается. Или, если истекло время необходимости резервирования, УКА данного потребителя отключается (блок

15). При этом перед подключением потребителя производится измерение потребляемой мощности резервным источником электроэнергии РРИЭ (блок 11) и добавление к ней номинальной мощности подключаемого потребителя (блок 12). Условный блок 13 используется для недопущения перегрузки РИЭ. Если резервная мощность РИЭ будет превышена, то блок 13 не позволит произвести подключение новых потребителей к сети. По завершении проверки каждого потребителя алгоритм выходит из безусловного цикла и переходит к ограничителю «Конец» (блок 6) [20].

При возникновении ситуации, когда в период работы РИЭ происходит изменение календарного плана или времени резервирования для какого-либо потребителя, единственным изменением в вышеописанном цикле будет подача соответствующего сигнала в теле безусловного цикла 10. Это приводит к немедленному отключению или включению рассматриваемого потребителя в соответствии с новыми установками, а также пересчет суммарной мощности подключенных потребителей. В случае, если при неизменном составе подключенных потребителей произойдет превышение мощности РИЭ за счёт увеличения нагрузки одного, или нескольких подключенных потребителей, то определенной итерации проверки потребителей условие блока 13 будет не соблюдено, и алгоритм подаст команду на отключение УКА соответствующего потребителя [20].

В случае, если блок управления сезонным резервированием (БУСР) фиксирует восстановление напряжения со стороны основного источника электроснабжения (работа блоков 3 и 4 алгоритма), условие в блоке 4 перестает выполняться. В результате происходит автоматическое включение УКАОИЭ и УКА всех потребителей, независимо от ранее установленного календарного плана и времени резервирования, а также отключение УКАРИЭ [20].

Таким образом, разработанный новый способ сезонного резервирования с контролем нагрузки и алгоритм работы устройства сезонного резервирования, предполагает интеграцию двух механизмов управления: приоритезации

потребителей на основе календарного графика и времени суток, а также категории надёжности и динамического контроля суммарной потребляемой мощности с функцией отключения наименее приоритетных потребителей для предотвращения перегрузки резервного источника [20].

Представленная структурная схема и алгоритм сезонного резервирования демонстрируют практическую реализуемость предложенного решения. Алгоритм обеспечивает не только гибкое управление электроснабжением в соответствии с экономической значимостью потребителей, но и гарантирует надежность работы резервного источника электроснабжения, повышая эффективность системы электроснабжения в целом [20].

3.2. Обоснование перечня ответственных электроприёмников животноводческих предприятий КРС для сезонного резервирования.

Для обоснования перечня ответственных электроприёмников необходимо внимательно изучить и проанализировать все технологические процессы, которые происходят на ферме. Важно учесть специфику каждого процесса, его влияние на общее функционирование хозяйства и требования к электроснабжению. Только после детального рассмотрения можно сформировать чёткий и обоснованный список ответственных электроприёмников, которые обеспечивают стабильную и безопасную работу фермы. Для этого следует классифицировать все технологические процессы по степени их важности и критичности, чтобы понять, какие именно участки хозяйства требуют постоянного и надёжного электропитания без перебоев. Таким образом, технологические процессы на ферме можно условно разделить на несколько ключевых групп, каждая из которых имеет своё значение и роль в общем цикле сельскохозяйственного производства. Эти группы помогут более структурированно подойти к выбору и обоснованию ответственных электроприёмников, обеспечивая эффективную работу всей фермы в целом.

1. Критически важные процессы (фундамент выживания и прибыльности фермы)

- Воспроизводство стада является ключевым элементом устойчивости и успешного функционирования животноводческого предприятия. Основными этапами этого процесса выступают осеменение и отелы. Производство телят не только обеспечивает прирост поголовья, но и служит необходимым условием запуска лактации у коров, так как молочная продуктивность отсутствует до момента отела. Следовательно, регулярное и своевременное воспроизводство напрямую влияет на стабильность производства молока и общую рентабельность фермы. Управление процессами размножения требует точного планирования, грамотного подбора производителей и контроля за состоянием здоровья животных для минимизации проблем с плодовитостью.

- Кормление и водоснабжение животных играют важнейшую роль в обеспечении их жизнедеятельности и продуктивности. Рацион питания коров определяет от 50 до 80% общей молочной продуктивности, что подчеркивает критическую необходимость правильного подбора и балансировки кормов. Даже при наличии некоторых патологий у животного, приём полноценного, сбалансированного и высококачественного корма способен поддерживать молочную продуктивность на приемлемом уровне. В то же время, хорошее состояние здоровья животного не гарантирует стабильного производства молока без адекватного и своевременного питания. Кормление должно учитывать не только энергетические и питательные потребности, но и особенности физиологического состояния, включая стадию лактации и репродуктивный статус. Также важным аспектом является обеспечение постоянного доступа к чистой воде, без которой нормальное усвоение кормов и обмен веществ невозможны.

- Ветеринарное обеспечение и профилактика заболеваний составляют неотъемлемую часть системы управления здоровьем стада и защиты хозяйства от рисков значительных экономических потерь. Предотвращение заболеваний с

высоким риском массовой заболеваемости и летальности, таких как лейкоз, мастит, ящур и кетоз, достигается посредством комплексных мер, включающих регулярные профилактические осмотры, вакцинацию, применение современных диагностических методов и своевременное лечение. Организация ветеринарной службы должна предусматривать разработку программ санитарно-эпидемиологического контроля, обучение персонала правилам работы с животными и процедур безопасности, а также мониторинг показателей здоровья поголовья. Эффективная профилактика способствует не только снижению затрат на лечение, но и сохранению высокой продуктивности и качества продукции фермы.

2. Стратегически важные процессы, обеспечивающие экономическую эффективность фермерского предприятия, представляют собой комплекс мер и действий, которые напрямую влияют на количественные и качественные показатели производства. Эти процессы играют ключевую роль в установлении оптимального уровня доходности фермы, поскольку от их правильной организации зависит эффективность использования ресурсов и качество конечной продукции.

- Доеение и первичная обработка молока: Техническое и технологическое соблюдение процесса доения является критически важным фактором, который влияет на биохимические свойства молока. Любые нарушения в ходе доения, включая несоблюдение гигиенических норм, неправильное использование оборудования или нарушение режимов обработки, могут привести к ухудшению качества молока, снижению его питательной ценности и увеличению содержания вредных микроорганизмов. Это, в свою очередь, сводит на нет все усилия по оптимизации кормовой стратегии, так как даже при правильно подобранном рационе и хорошем кормлении продуктивность молочного стада будет снижена из-за проблем с обработкой и качеством продукции.

- Вентиляция: надлежащая вентиляция в помещениях для животных необходима для их здоровья. Недостаток свежего воздуха и плохая циркуляция способствуют размножению микробов и накоплению вредных газов, вызывая респираторные заболевания, особенно у молодняка. Часто развивается пневмония, а у взрослых животных — мастит, что снижает продуктивность и повышает затраты на лечение.

- Удаление навоза: Регулярное и своевременное удаление навоза и других отходов жизнедеятельности животных является необходимым условием для поддержания санитарно-гигиенического состояния помещений и здоровья поголовья. Аммиак, который выделяется из разлагающихся органических отходов, оказывает токсическое воздействие на иммунную систему животных, ослабляя их защитные функции и повышая восприимчивость к инфекционным заболеваниям. Кроме того, загрязнение полов и подстилки отходами приводит к возникновению копытных заболеваний, таких как копытная гниль и другие инфекционные патологии, которые существенно снижают продуктивность и подвижность животных. Все эти факторы приводят к ухудшению общего состояния стада и снижают экономическую эффективность фермы.

3. Факторы обеспечения (оптимизация и рост)

Данные факторы оказывают значительное влияние на себестоимость производства и качество условий труда на ферме. В то же время, их отсутствие не приводит к немедленному прекращению функционирования фермерского хозяйства, однако ограничивает перспективы эффективного развития и устойчивости производства.

- Содержание и зоогигиена (подстилка, освещение): Ключевым аспектом является обеспечение сухого и комфортного лежания животных, что достигается использованием боксов с амортизирующими матрасами или подходящей подстилки, например, соломы. Недостаточный уровень освещения приводит к снижению синтеза витамина D у животных, что в свою очередь обуславливает уменьшение удоев на уровне 10–15%.

- Выращивание ремонтного молодняка: Данный процесс направлен на своевременную замену выбракованных взрослых особей. Недостаточная масса и физиологическое состояние ремонтного молодняка снижают их продуктивность и могут привести к дефициту замены в дальнейшем.

- Учет и управление стадом: Критическим фактором эффективного управления животноводческим производством является наличие точных и своевременных данных, включающих показатели молочной продуктивности (удой), массу тела, рациональное кормление и репродуктивные события (отелы). Отсутствие объективной информации приводит к принятию управленческих решений на основе субъективных оценок, что снижает эффективность кормления и ветеринарного обслуживания, в конечном итоге увеличивая экономические потери предприятия.

Опираясь на предоставленную выше информацию, мы можем определить и упорядочить последовательность выполнения технологических процессов, а также распределить электроприёмники в соответствии с уровнем их приоритетности и важности.

Таблица 3.2.1 – Таблица приоритетов процессов и оборудования на рассматриваемой ферме КРС в коровнике

№	Технологический процесс	Оборудование	Приоритет по времени	Приоритет по надёжности
1	Кормление	Кормораздатчик,	08:00 – 12:00; 14:00 – 18:00	1
2	Поение	насос водоснабжения.	24 ч	1
3	Вентиляция	Приточно-вытяжная система вентиляции,	24 ч	1
4	Отопление	отопительное оборудование.	24 ч	2
5	Уборка навоза	Транспортёры навозоудаления.	10:00 – 12:00; 22:00 – 24:00	3
6	Доеение	Доильные установки,	06:00 – 08:00; 18:00 – 20:00	1
7	Хранение молока	танкеры охладители.	24 ч	1
8	Рабочее освещение	Осветительное оборудование.	06:00 – 18:00	3
9	Дежурное освещение	Осветительное оборудование.	18:00 – 06:00	1

Таблица 3.2.2 – Таблица приоритетов процессов и оборудования на рассматриваемой ферме КРС в телятнике

№	Технологический процесс	Оборудование	Приоритет по времени	Приоритет по надёжности
1	Кормление	Установка для приготовления и раздачи молочной питательной смеси	06:00 – 8:00; 12:00 – 14:00; 18:00 – 20:00	1
2	Поение	насос водоснабжения.	24 ч	1
3	Вентиляция	Приточно-вытяжная система вентиляции,	24 ч	1
4	Отопление	отопительное оборудование.	24 ч	2
5	Уборка навоза	Транспортёры навозоудаления.	08:00 – 10:00; 20:00 – 22:00	3
6	Облучение новорожденных телят	Облучательные установки	08:00 – 10:00; 14:00 – 16:00	2
7	Подогрев воды в телятнике	Устройство подогрева воды	24 ч	1
8	Рабочее освещение	Осветительное оборудование.	06:00 – 18:00	3
9	Дежурное освещение	Осветительное оборудование.	18:00 – 06:00	1

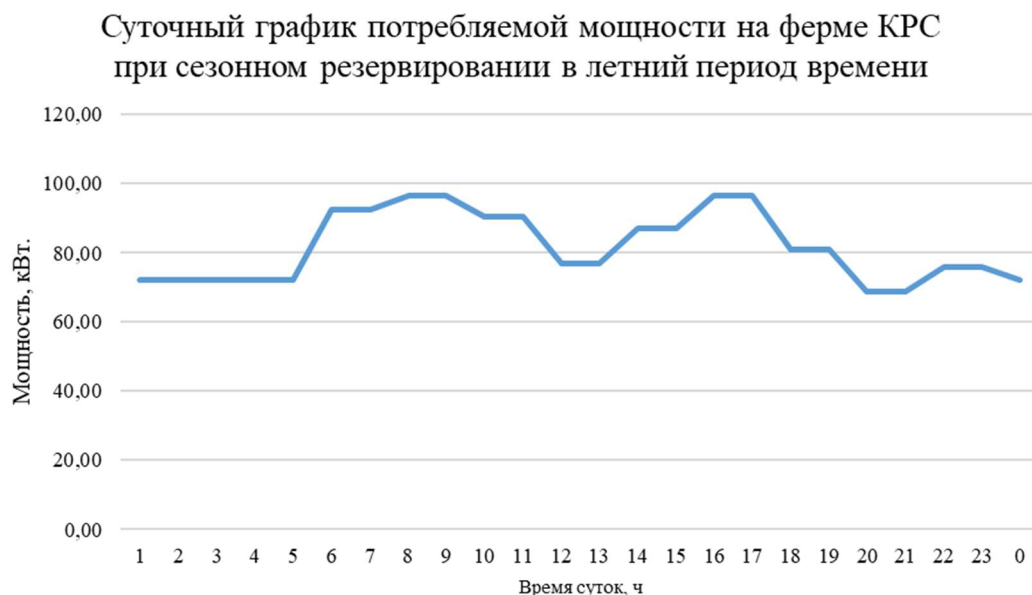


Рисунок 3.2.1 – Суточный график потребляемой мощности животноводческим предприятием КРС (ферма + телятник) в летний период времени при сезонном резервировании

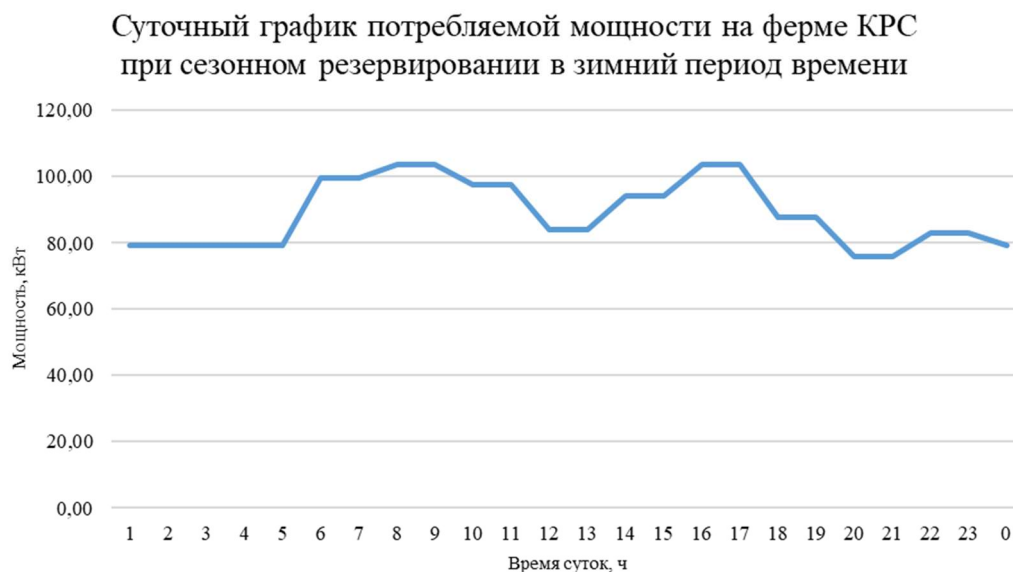


Рисунок 3.2.2 – Суточный график потребляемой мощности животноводческим предприятием КРС (ферма + телятник) в зимний период времени при сезонном резервировании

Активная мощность, $P_{\text{Риmax}}$, кВт, определяется [14]:

$$P_{\text{Риmax}} = \frac{P_{\Sigma P} \cdot k_{\Pi}}{k_{\text{CH}}} \cdot k_{\text{ЗП}} \cdot k_{\text{ЗРН}}, \quad (3.2.1)$$

где $P_{\Sigma P} = 103,5$ кВт; $k_{\Pi} = 1,03$; $k_{\text{CH}} = 0,96$; $k_{\text{ЗП}} = 1,3$; $k_{\text{ЗРН}} = 1,2$.

$$P_{\text{Риmax}} = \frac{103,5 \cdot 1,03}{0,96} \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 173,23 \text{ кВт}$$

Для электроснабжения животноводческого комплекса при сезонном резервировании принимается дизель-генераторная установка типа АД-180С-Т400-1РПМ11 мощностью 180 кВт.

Таблица 3.2.3 Основные характеристики АД-180С-Т400-1РПМ11 [96].

Постоянная мощность	180 кВт / 225 кВА
Резервная мощность	198 кВт / 248 кВА
Расход топлива при нагрузке 50%	30,8 л/ч
Расход топлива при нагрузке 75%	44,8 л/ч
Расход топлива при нагрузке 100%	57,5 л/ч
Емкость топливного бака	500 л

Выполним расчёт вероятного количества отключений выполняем согласно методике, приведённой в главе 2.

Частота отключений в заданный час заданного месяца сети рассматриваемого объекта (l , км) при длине ЛЭП 10 кВ равной 15 км и количестве ТП 1 шт, $Y_{об.ч/м}$, $ч^{-1}$:

$$Y_{об.ч/м} = \frac{Y_{ч/м} \cdot n_{авз} \cdot l}{L} \quad (3.2.2)$$

где l – протяжённость сети 10 кВ рассматриваемого объекта, 15 км;

L – протяжённость рассматриваемой сети, для которой определялась частота отключений, $Y_{ч/м}$, 12200 км.

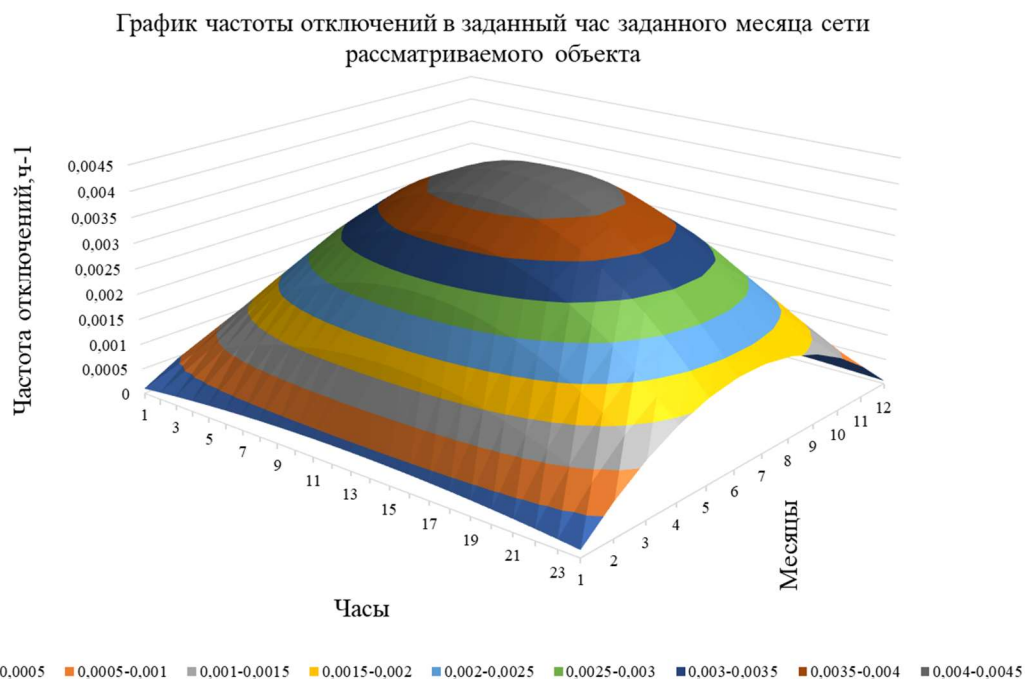


Рисунок 3.2.3 – Частота отключений в заданный час заданного месяца в питающей сети предприятия КРС (при частоте отказов равной 513(средние))

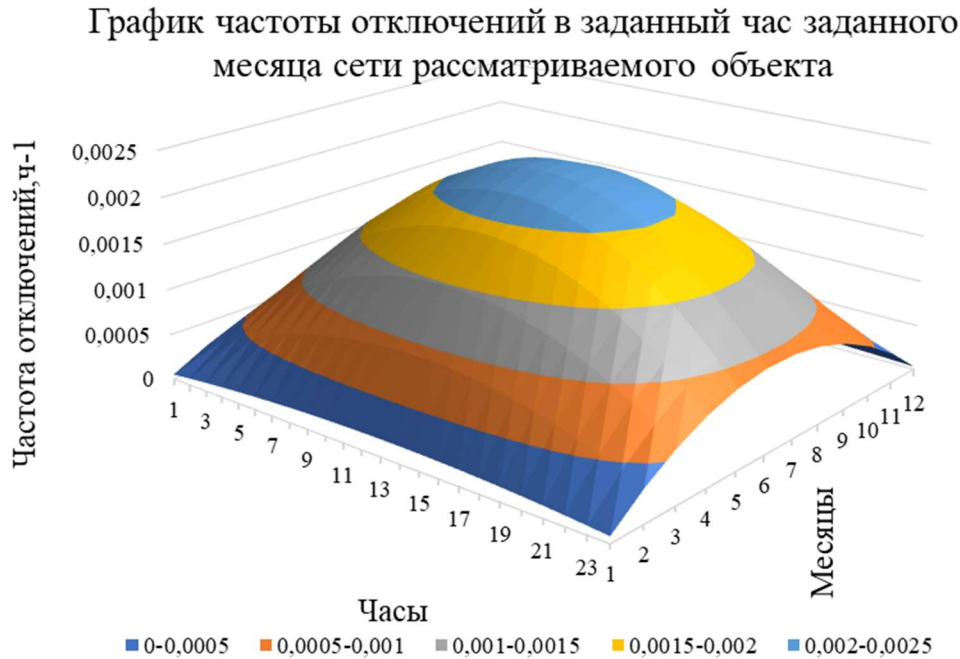


Рисунок 3.2.4 – Частота отключений в заданный час заданного месяца в питающей сети предприятия КРС (при частоте отказов равной 860(максимальные))

Суммарное вероятное количество отключений (определяется суммированием частот отключений за год) составит, $n_{ав.вер\Sigma}: 0,79, год^{-1}$

Определим вероятную продолжительность отключений, $T_{пер.ав.}, ч/год$:

$$T_{пер.ав} = n_{ав.вер\Sigma} \cdot T_{в}^{cp} \quad (3.2.3)$$

Где среднее время восстановления электроснабжения, $T_{в}^{cp} = 4,88$ ч согласно статистическим данным (таблица 1.4.1).

Таким образом, ожидаемое количество часов работы резервной ДГУ составляет 3,87 ч.

Количество плановых отключений определим исходя из нормативных значений частоты плановых отключений на 100 км сети по источникам литературы ввиду отсутствия необходимых статистических данных.

Коэффициент планового простоя $q_{пл\ учі}, ч/год$, последовательной цепи (у нас это ЛЭП 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ) определяется следующим образом [1, 29]:

$$q_{пл\ учі} = \sum T_{пл.i} \cdot m_i \quad (3.2.4)$$

где $T_{пл.i}$ – среднее время планового перерыва на обслуживание i -го элемента (оборудования, участка ЛЭП), в последовательной цепи, ч;

m_i – количество плановых ремонтов в течение ремонтного цикла для i -го элемента (оборудования, участка ЛЭП), в последовательной цепи. Для воздушных линий $m_i=0,17 \text{ год}^{-1}$, для трансформаторов $0,25 \text{ год}^{-1}$.

Для любого рассматриваемого участка плановое время перерывов на участке $T_{пл.уч.i}$, ч/год, принимаем равным $q_{пл.уч.i}$. Время плановых перерывов для разных элементов принимаем следующее. Для воздушных линий принимаем равным 1,25 ч [21]. Для трансформаторов это время составляет 6 ч [87, 29].

В нашем случае коэффициент планового простоя, или время плановых перерывов составит, $q_{пл}$, ч/год:

$$q_{пл} = \sum T_{пл.i} \cdot m_i = 1,25 \cdot 0,17 + 6 \cdot 0,25 = 1,7125,$$

Данное время добавляем к времени аварийных перерывов в электроснабжении и получаем общее вероятное время работы ДГУ.

Составим модель расходов топлива для традиционного варианта использования ДГУ и для случая с сезонным резервированием.

Для этого рассчитаем потребность в топливе с учётом количества отключений в разные часы и разные месяцы. При этом учитываем различную нагрузку в эти часы и различный расход топлива ДГУ в зависимости от нагрузки согласно графикам нагрузки.

Вероятный расход топлива определим по формуле:

$$R_{ДГУ} = Y_{об.м/ч} \cdot \sum_{i=1}^{n} P_{Ti} \cdot T_i \cdot r_{iДГУ}, \quad (3.2.5)$$

где P_{Ti} – потребляемая мощность, согласно графику нагрузки в течение i -го времени одинаковой нагрузки при отключении, кВт;

T_i – i -е время одинаковой нагрузки при отключении, ч;

$r_{iДГУ}$ – удельный расход топлива ДГУ, л/кВт·ч при разной загрузке.

На рисунках 3.2.5 – 3.2.10 показаны зависимости расхода топлива от нагрузки в летний и зимний период времени для выбранных по разным схемам резервирования ДГУ.



Рисунок 3.2.5 – Суточный график потребляемого топлива предприятием КРС (ферма + телятник) в летний период времени при традиционном резервировании при использовании ДГУ АД-315С-Т400-1РПМ2



Рисунок 3.2.6 – Суточный график потребляемого топлива предприятием КРС (ферма + телятник) в летний период времени при традиционном резервировании при использовании ДГУ АД-315С-Т400-1РПМ2



Рисунок 3.2.7 – Суточный график потребляемого топлива предприятием КРС (ферма + телятник) в летний период времени при резервировании по графику при использовании ДГУ АД-250С-Т400-1РПМ11



Рисунок 3.2.8 – Суточный график потребляемого топлива предприятием КРС (ферма + телятник) в зимний период времени при резервировании по графику при использовании ДГУ АД-250С-Т400-1РПМ11

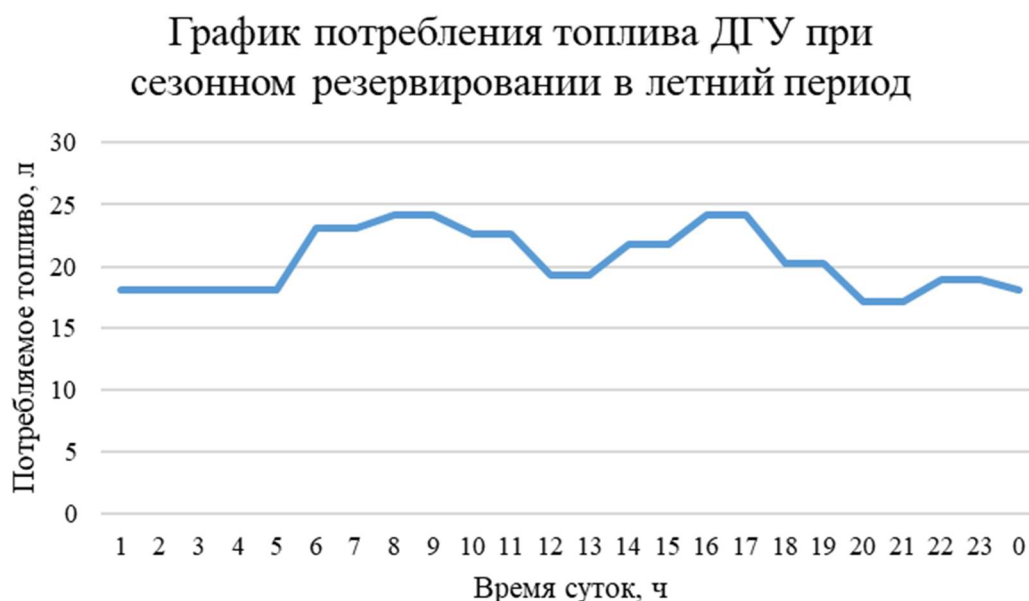


Рисунок 3.2.9 – Суточный график потребляемого топлива предприятием КРС (ферма + телятник) в летний период времени при сезонном резервировании при использовании ДГУ АД-180С-Т400-1РПМ11

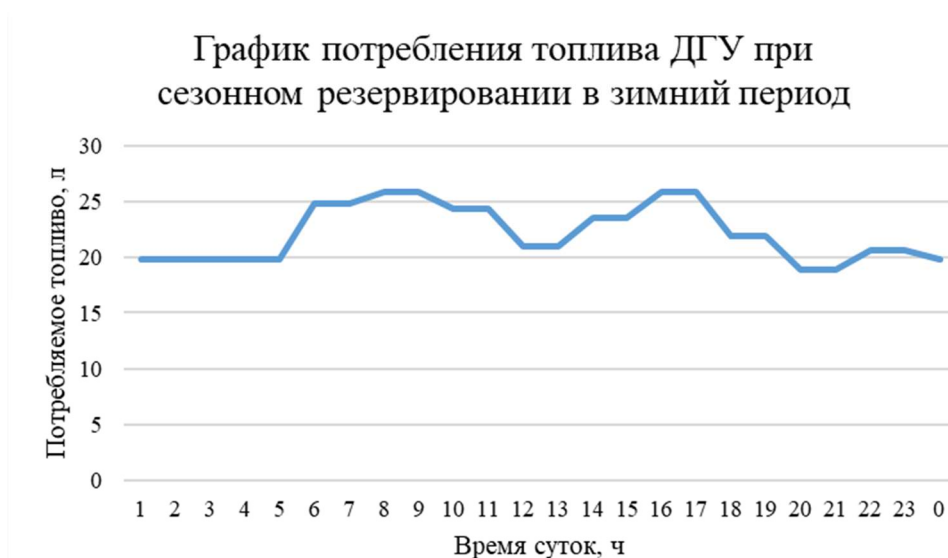


Рисунок 3.2.10 – Суточный график потребляемого топлива предприятием КРС (ферма + телятник) в зимний период времени при сезонном резервировании при использовании ДГУ АД-180С-Т400-1РПМ11

На рисунках 3.2.11 – 3.2.13 показаны зависимости расхода топлива от нагрузки в летний и зимний период времени для выбранных по разным схемам резервирования ДГУ.

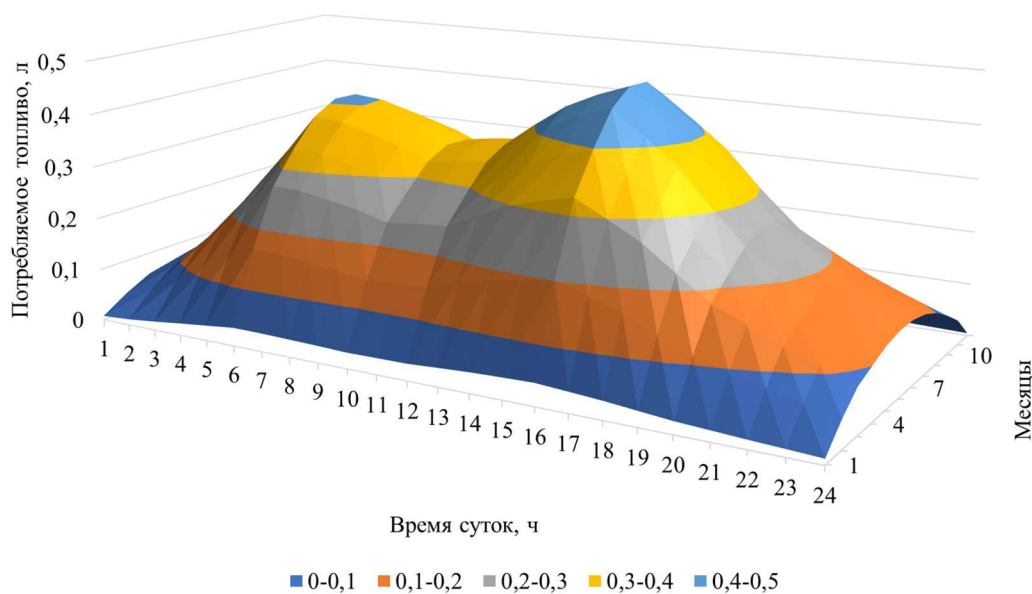


Рисунок 3.2.11 – График потребления топлива ДГУ при традиционном резервировании при средней частоте отключений

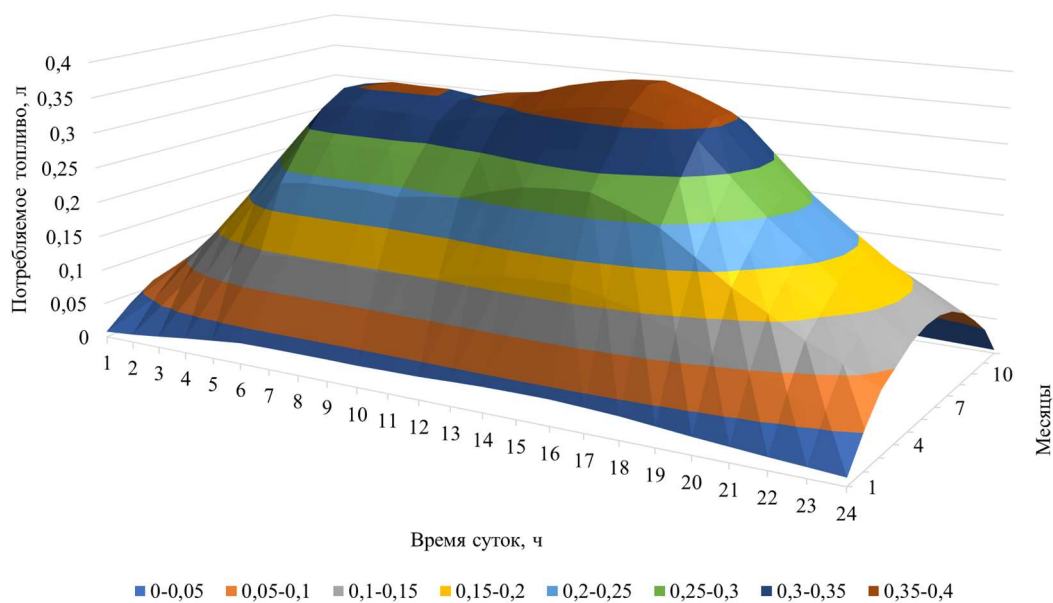


Рисунок 3.2.12 – График потребления топлива ДГУ при резервировании по графику при средней частоте отключений

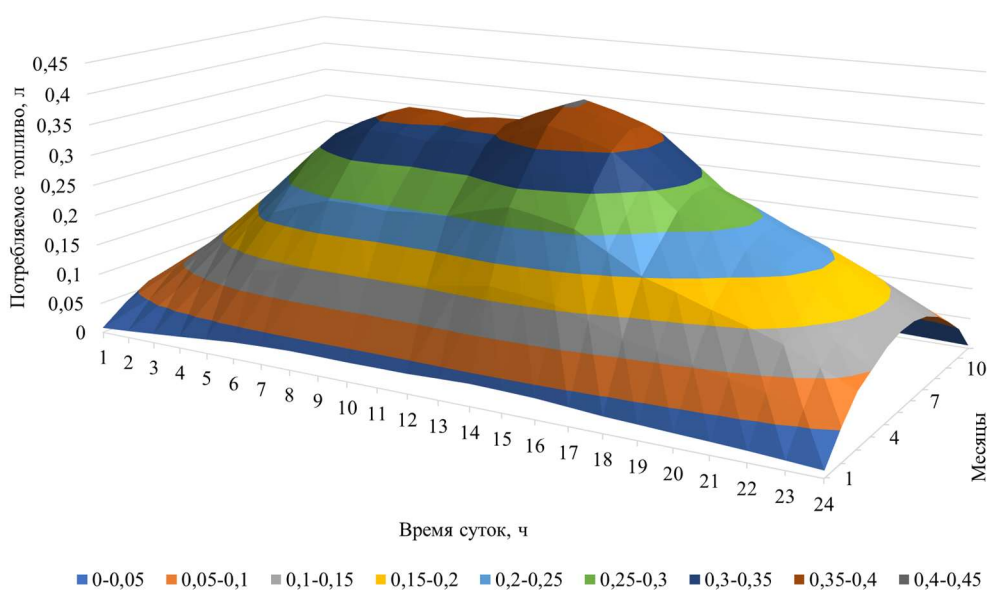


Рисунок 3.2.13 – График потребления топлива ДГУ при сезонном резервировании при средней частоте отключений

При традиционном резервировании среднее потребление топлива ДГУ АД-315С-Т400-1РПМ2 составляет 22,8 л. и 24,5 л. в летний и зимний период соответственно. Расход топлива при резервировании по графику при использовании ДГУ АД-250С-Т400-1РПМ11 составит 21,3 л. и 23,2 л. в летний и зимний период соответственно. При сезонном резервировании при использовании ДГУ АД-180С-Т400-1РПМ11 среднее потребление топлива составит 20,4 л. и 22,2 л. в летний и зимний период соответственно. В этом случае среднее потребление топлива при сезонном резервировании по сравнению с традиционным снизится на 7% и 11% в летний и зимний период соответственно.

Таким образом, вероятный расход топлива при реализации способов сезонного резервирования снизится на 11%.

3.3 Обоснование функциональных требований к техническим средствам для реализации способов сезонного резервирования на животноводческом предприятии КРС

Общие технические требования к техническому средству резервирования включают в себя комплекс специфических параметров и характеристик, которые

обеспечивают надёжность, безопасность и эффективность работы системы в условиях возможных сбоев и отказов. Такие требования предусматривают обязательное соответствие установленным стандартам и нормам, детальное описание функциональных возможностей, а также критерии по обеспечению совместимости с существующим оборудованием. Важным аспектом является также обеспечение возможности быстрой замены или восстановления основных компонентов, чтобы минимизировать простой и предотвратить потерю данных или прерывание процесса. Кроме того, технические требования охватывают вопросы устойчивости к внешним воздействиям, таким как электромагнитные помехи, перепады напряжения и другие факторы, способные повлиять на стабильность работы системы резервирования. Все эти условия способствуют созданию комплексного и надёжного решения, способного обеспечить бесперебойное функционирование технических систем в различных эксплуатационных ситуациях.

Мы можем выделить следующие функциональные требования к техническим средствам реализации сезонного резервирования.

1. Электроснабжение следует осуществлять минимум от двух независимых источников электроснабжения (основного и резервного (резервных)).

2. Технические средства должны обеспечивать бесперебойное электропитание системы при пропадании или снижении напряжения ниже допустимого уровня по основному вводу электроснабжения.

3. При сохранении источником основного ввода электроснабжения своих параметров питание электроприемников следует осуществлять от основного источника электроснабжения (исходное состояние).

4. Переключение электроснабжения с основного источника на резервный(е) следует осуществлять автоматически при пропадании или снижении ниже допустимого значения напряжения электроснабжения основного

источника. При восстановлении параметров основного источника электроснабжения питание должно быть переключено на основной.

5. Технические средства должны обеспечивать формирование и передачу во внешние цепи информации об отсутствии входного напряжения электроснабжения по любому входу, должен обеспечивать формирование и передачу во внешние цепи информации об отсутствии выходного напряжения по любому выходу. Допускается формирование обобщенного сигнала «Неисправность».

6. Органы управления, при помощи которых могут быть изменены параметры технического средства, должны быть защищены от несанкционированного доступа.

7. На технических средствах должны быть указаны значения его выходных параметров, к которым относятся: номинальное значение выходного напряжения; допустимое отклонение выходного напряжения от номинального; диапазон допустимых значений выходного тока; частота выходного напряжения); уровень пульсаций; тип. параметры и допустимые значения сигналов для передачи во внешние цепи.

8. Индикатор «Питание основное» должен светиться непрерывно зеленым цветом при наличии электроснабжения по основному вводу в пределах допустимых значений. При отсутствии электроснабжения по основному вводу индикатор «Питание основное» должен погаснуть. При снижении значения напряжения по основному вводу электроснабжения ниже допустимого уровня индикатор «Питание основное» должен погаснуть или перейти в режим мигания.

9. Индикатор «Питание резервное» должен светиться непрерывно зеленым цветом при наличии электроснабжения по резервному вводу в пределах допустимых значений. В случае применения в качестве резервного источника электроснабжения аккумуляторных батарей индикатор «Питание резервное» должен светиться непрерывно зеленым цветом при наличии полностью заряженных аккумуляторных батарей.

10. Индикатор «Выход» должен светиться непрерывно зеленым цветом при наличии выходного напряжения в пределах допустимых значений, а также при отсутствии превышения номинального тока нагрузки.

11. Заложенные в технические средства алгоритмы должны реализовывать разработанные способы сезонного резервирования.

3.4 Выводы по главе

Выполненный анализ литературных источников выявил существующие способы организации резервирования электроснабжения оборудования предприятий КРС и их недостатки. Это позволило разработать новые способы сезонного резервирования, отличающиеся тем, что они учитывают приоритезацию резервируемых потребителей, оборудования по календарному графику работы и по загрузке РИЭ.

Составлены графики вероятной потребности топлива с учётом сезонности отключений ЛЭП 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ. Определены мощности РИЭ и вероятные годовые расходы топлива при реализации традиционной схемы резервирования и с учётом сезонного резервирования. Они составили, при традиционном резервировании 22,8 л. и 24,5 л., при резервировании по графику составит 21,3 л. и 23,2 л., и при сезонном резервировании составит 20,4 л. и 22,2 л. в летний и зимний период соответственно. В этом случае среднее потребление топлива при сезонном резервировании по сравнению с традиционным снизится на 12% и 11% в летний и зимний период соответственно.

Вероятный расход топлива при реализации способов сезонного резервирования снизится на 11%. Таким образом показано, что применение разработанных способов сезонного резервирования позволяет рационализировать мощность РИЭ и расход топлива при его использовании.

4. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ СПОСОБОВ СЕЗОННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

4.1. Разработка структурных и электрических схем ПАК СР ответственных электроприёмников животноводческого предприятия КРС

Программно – аппаратный комплекс сезонного резервирования (ПАК СР) предназначен для повышения надежности электроснабжения потребителей и рационализации мощности РИЭ за счёт реализации способов сезонного резервирования потребителей, подключенных к одной сети, с приоритизацией их по признаку необходимости резервирования с учетом календарной даты и времени суток, а также с контролем загрузки РИЭ. Структурная схема ПАК СР представлена на рисунке 4.1.1.

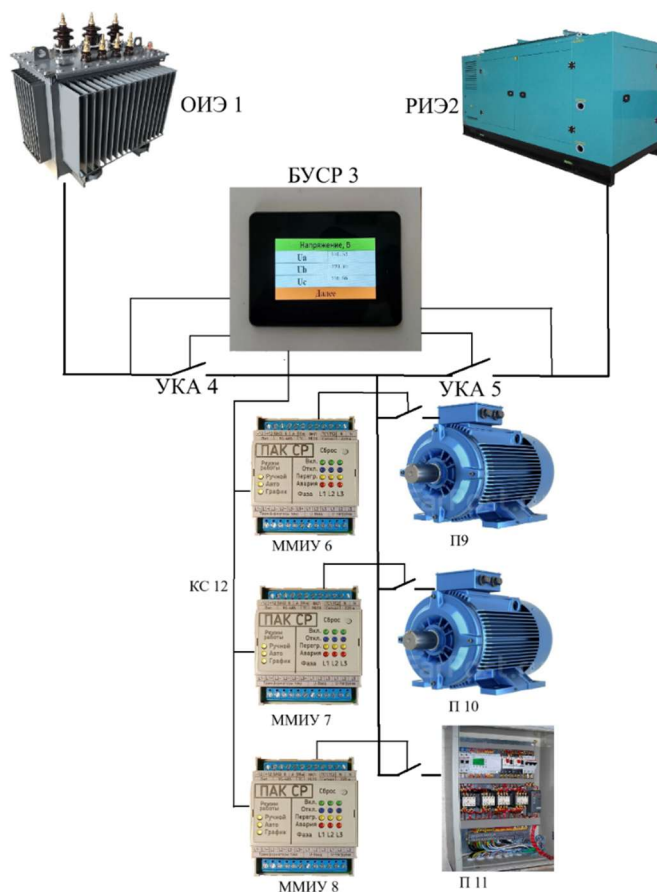


Рисунок 4.1.1 – Структурная схема ПАК СР

На схеме показаны основной (ОИЭ1) и резервный (РИЭ2) источники электроснабжения, потребители П9-П11 и ПАК СР, который содержит блок управления сезонным резервированием (БУСРЗ), управляемые коммутационные аппараты УКА4, УКА5, канал связи КС12 и модули мониторинга и управления ММИУ6 - ММИУ8.

В БУСРЗ внесены алгоритмы управления сезонным резервированием, приведённые в 3 главе работы, обозначена приоритетность потребителей по значимости и по календарному и суточному графику работы.

УКА4 служит для подачи питания потребителям П9-П11 от ОИЭ1, а УКА5 – от РИЭ2. По КС12 (витая пара, радиоканал, или другой вариант связи) передаются команды от БУСРЗ на ММИУ7-ММИУ9 и принимается информация от них.

ММИУ7-ММИУ9 осуществляют контроль тока и напряжения на вводах потребителей (или отдельных электроприёмников) и передают данные в БУСРЗ, принимают команды от БУСРЗ и подключают потребителей к питанию, воздействуя на соответствующие вводные управляемые коммутационные аппараты.

Логика работы следующая. При питании от ОИЭ1 ММИУ коммутационные аппараты потребителей по умолчанию включены, ММИУ подают на них питание. При исчезновении напряжения на ОИЭ БУСРЗ контролирует отключение УКА4 и включение УКА5, то есть переключение потребителей на РИЭ2 с помощью АВР. При этом направляется сообщение диспетчеру об отключении ОИЭ1, что позволяет более оперативно принять меры по восстановлению ОИЭ1.

При переключении на РИЭ БУСРЗ передаёт по КС12 команды на соответствующие ММИУ на отключение тех потребителей, резервирование которых не требуется в тот момент времени, когда произошло отключение ОИЭ. Контактные аппараты данных потребителей отключаются, а тех, которые

необходимо резервировать согласно их приоритету по значимости и календарному плану остаются включенными.

Если продолжительность отключенного состояния ОИЭ1 достаточно большая, так что происходит изменение состава потребителей, необходимых для резервирования, БУСРЗ передаёт команды на соответствующие ММИУ для отключения тех потребителей, которые уже нет необходимости резервировать и включение тех, которые резервировать надо в соответствии с изменением приоритета.

БУСРЗ контролирует загрузку РИЭ2 и при его перегрузке отдаёт по КС12 команду на отключение наименее значимых по приоритету потребителей с целью предотвращения перегрузки РИЭ2 и, соответственно, отключения всех потребителей штатной защитой РИЭ2.

При появлении напряжения на ОИЭ1 БУСРЗ подаёт команду на подключение всех потребителей к питанию.

На время отсутствия питания от ОИЭ и РИЭ в БУСРЗ предусмотрено наличие независимого блока питания с применением аккумуляторов, что позволяет сообщать диспетчеру о текущей ситуации.

Данная структура комплекса, за счёт наличия отдельно устанавливаемых ММИУ позволяет осуществлять сезонное резервирование как целых объектов электроснабжения, так и отдельных электроприёмников, внося лишь незначительные изменения в схему их электроснабжения (установка управляемых коммутационных аппаратов на вводах объектов, на вводах электроприёмников, или в распределительных щитах в зависимости от способа управления сезонным резервированием (индивидуального, или группового).

Это позволяет более равномерно обеспечивать загрузку РИЭ2, предотвращать его перегрузку, обеспечивать сокращение потребление энергоресурсов при работе РИЭ2, сокращать вложения в обеспечение резервирования электроснабжения потребителей за счёт рационализации

мощности РИЭ2 и отсутствия необходимости строительства отдельных резервных линий, или установки индивидуальных РИЭ.

Структурная схема блока управления сезонным резервированием (БУСР) комплекса ПАК СР представлена на рисунке 4.1.2.

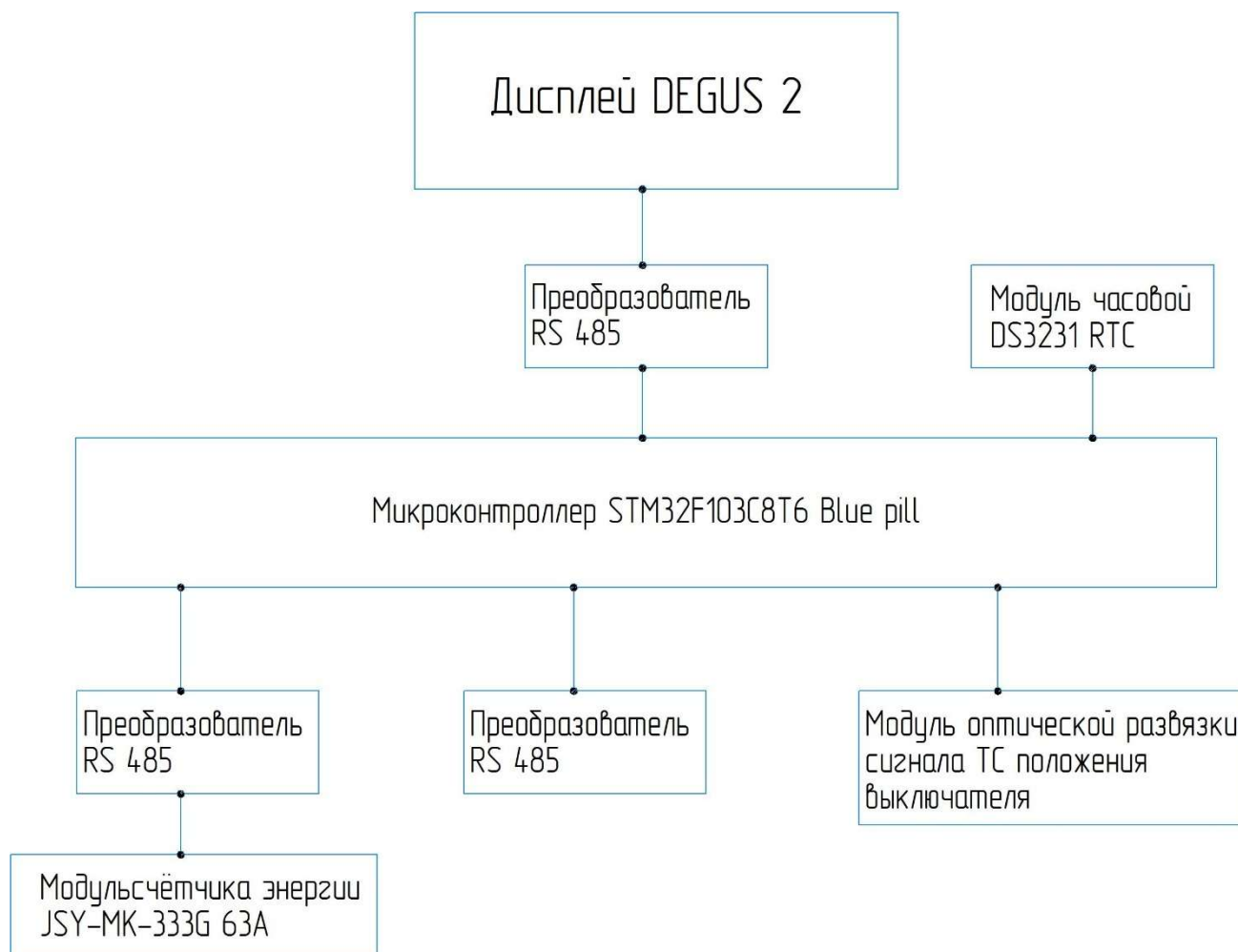


Рисунок 4.1.2 – Структурная схема блока управления сезонным резервированием (БУСР)

Блок управления сезонным резервированием состоит из микроконтроллера, модуля счётчика энергии, модуля оптической развязки положения выключателя, часового модуля, дисплея и преобразователей. К микроконтроллеру STM32F103C8T6 через преобразователь подключён дисплей DEGUS 2, через который происходит мониторинг состояния питающей сети, настройка режимов работы, время работы управление установкой и наблюдение за основными показателями состояния работы оборудования. К микроконтроллеру через

преобразователь подключен модуль счётчика энергии JSY-MK-333G, который мониторит состояние сети, а именно наличие тока и напряжения на питающих линиях. К микроконтроллеру подключается модуль оптической развязки сигнала ТС положения выключателя. Данный модуль предназначен для мониторинга положения выключателя на основной питающей сети и на генераторе. При изменении источника электропитания модуль подаёт сигнал на микроконтроллер получает информацию, и начинает управление работой оборудования по заданной программе. Часовой модуль DS3231 RTC предназначен для корректного отсчёта времени, благодаря чему установка будет работать по заданной программе работы по времени.

Схема питания модулей БУСР показана на рисунке 4.1.3.

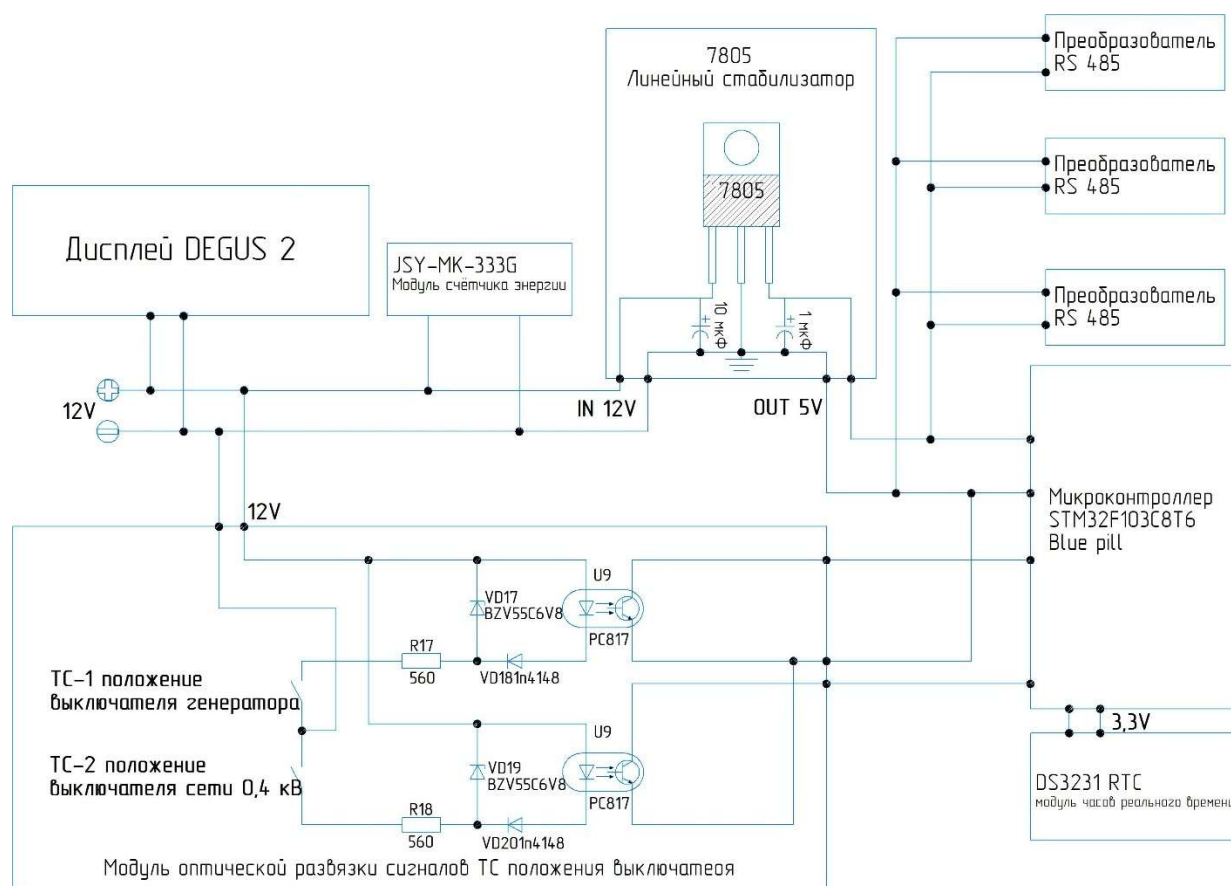


Рисунок 4.1.3 – Схема питания модулей БУСР

На вводе подаётся питание переменным напряжением 220 В и через стабилизатор напряжения оно преобразуется в постоянное напряжение 12 В. К вводу также подключен источник бесперебойного питания (ИБП), который при

отключения питания от основного источника питания обеспечивает стабильную работу установки. В схеме встроен линейный стабилизатор, обеспечивающий питание микроконтроллера и преобразователей напряжением 5 В.

Схема соединения модулей БУСР и ММИУ показана на рисунке 4.1.4.

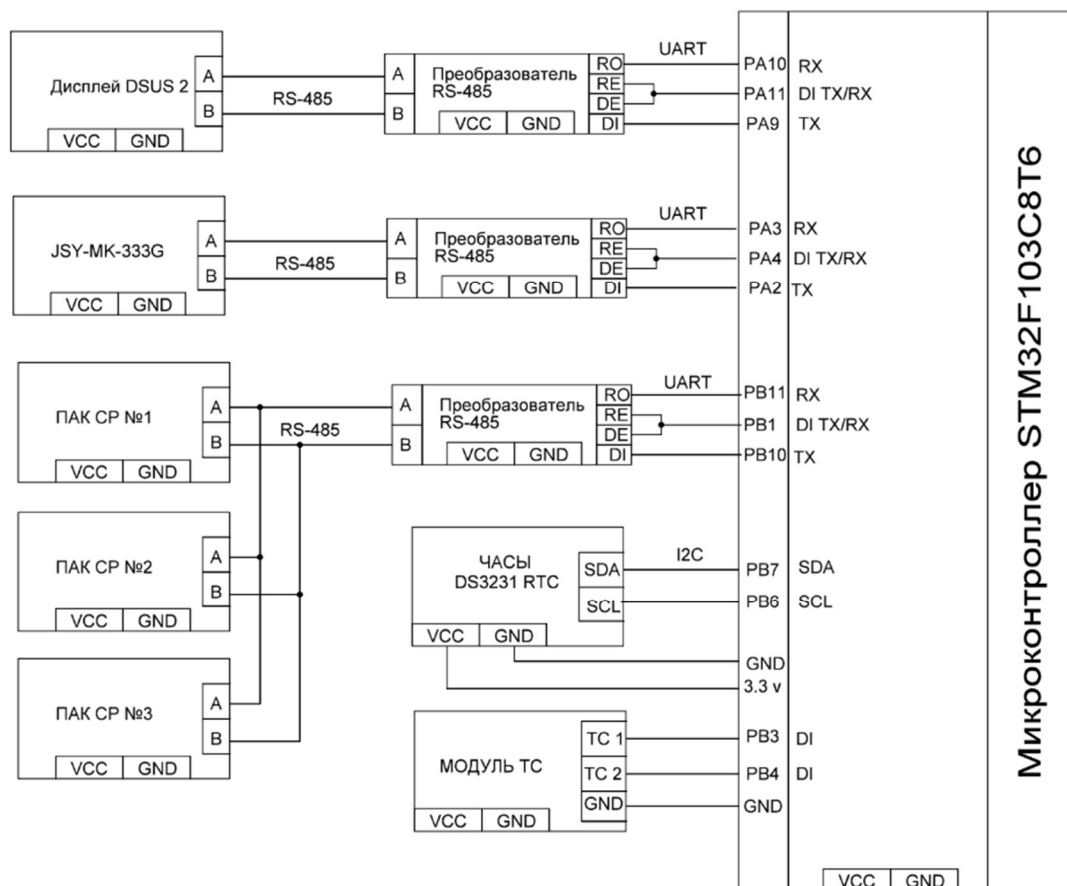


Рисунок 4.1.4 – Схема соединения модулей БУСР и ММИУ

4.2. Разработка экспериментального образца ПАК СР

На рисунке 4.2.1 представлен экспериментальный образец ПАК СР, установленный на разработанном стенде, позволяющем изучать способы сезонного резервирования. Стенд содержит два ввода, имитирующих основной и резервный источники электроснабжения. Имитация отключения и включения ОИЭ и РИЭ осуществляется вводными автоматическими выключателями (QF

ОИЭ и QFРИЭ) а также точки подключения электроприёмников. На стенде это однофазные электроприёмники, но ПАК СР может управлять и трёхфазными.

Экспериментальный образец включает в себя БУСР и комплект из трёх ММИУ, которые соединяются с БУСР через проводное соединение. Кроме того, возможна беспроводная связь с использованием современных технологий передачи данных, таких как WiFi, радиоканал или LoRa WAN, что позволяет организации гибкой и удалённой коммуникации между компонентами комплекса.

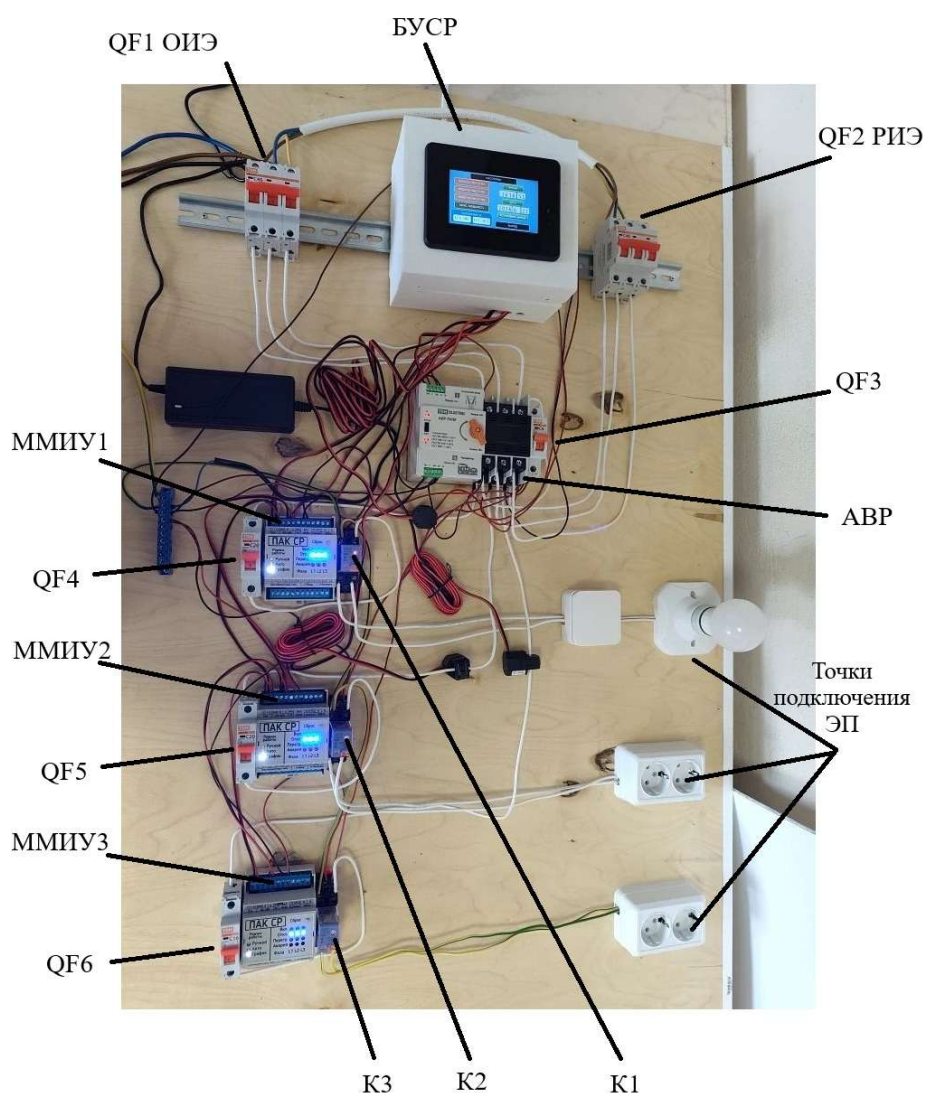


Рисунок 4.2.1 – Фото экспериментального образца ПАК СР на стенде

На панели БУСР, которая представлена на рисунке 4.2.2, отображается подробная информация о текущем состоянии питающей электрической сети. Кроме того, на этой панели осуществляется настройка различных параметров

работы программно-аппаратного комплекса сезонного резервирования (ПАК СР). В разделе настроек пользователь может задать несколько важных параметров, влияющих на работу всего комплекса. Во-первых, устанавливается конкретное время, в которое должно подаваться питание на определённое оборудование. Фактически, это время соответствует моменту, когда необходимо подать сигнал для включения конкретного ММИУ при переходе энергопитания объекта работы на РИЭ. Во-вторых, задаётся уставка по мощности, то есть пороговое значение, при превышении которого устройство производит автоматическое отключение определённых ММИУ с целью предотвращения перегрузок и возможных аварийных ситуаций. И, наконец, в настройках указывается приоритетность отключений различных ММИУ, что позволяет управлять порядком их отключения при возникновении аварийных режимов или перегрузок в питающей сети, обеспечивая максимально эффективное и безопасное распределение нагрузки. Таким образом, панель БУСР не только информирует о текущем состоянии системы, но и предоставляет необходимые инструменты для тонкой настройки и управления работой ПАК СР, что значительно повышает надёжность и контролируемость электроснабжения объекта.

ММИУ (рисунок 4.2.3) разработано с учётом обеспечения максимальной гибкости управления и надёжности работы оборудования. В частности, устройство поддерживает три основных режима работы, которые позволяют адаптировать управление в зависимости от конкретных условий эксплуатации и требований оператора. Первый режим – это ручное управление оператором, при котором весь процесс управления осуществляется напрямую человеком, что обеспечивает максимальный контроль и возможность оперативного вмешательства в работу системы. Второй режим – автоматическое управление, при котором ММИУ самостоятельно контролирует состояние оборудования и в случае отключения автоматически подключает цепи к электросети, что позволяет снизить время простоя и минимизировать влияние аварийных ситуаций на работу предприятия. Третий режим – работа по заданному графику, при котором

включение оборудования происходит строго по заранее установленным временным параметрам. В этом режиме команда на включение поступает от БУСР, который учитывает не только время возникновения отключения, но и приоритет конкретного ММИУ, а также важность подключённого к нему оборудования. Такое взаимодействие позволяет оптимизировать распределение нагрузок и повысить общую устойчивость энергетической системы. Кроме того, на лицевой панели ММИУ предусмотрена индикация аварийных ситуаций в цепи питания оборудования. Эта индикация отображает наличие повреждений, указывая конкретную повреждённую фазу, что значительно облегчает диагностику и ускоряет проведение ремонтных работ. Благодаря этим функциям ММИУ обеспечивает эффективное и надёжное управление электроснабжением, позволяя минимизировать возможные простои и повысить безопасность эксплуатации оборудования.

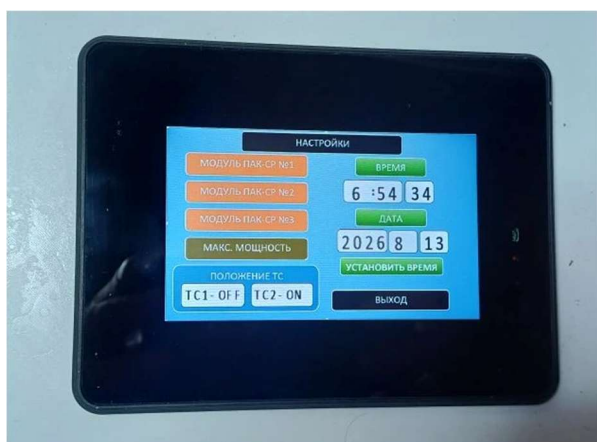


Рисунок 4.2.2 – Фотография лицевой панели БУСР в режиме настройки



Рисунок 4.2.3 – Фотография ММИУ

4.3. Лабораторные испытания экспериментального образца ПАК СР и обработка их результатов

4.3.1 Проверка комплектности и качества монтажа

В ходе испытаний проверялась комплектность оборудования, качество монтажа, функциональность и работоспособность устройств. В комплект устройств входило следующее:

- Устройство ПАК СР;
- Устройства ММИУ (необходимое количество);
- Устройство автоматического ввода резерва (АВР);
- Автоматические выключатели и реле для подключения устройства;
- Комплект проводов и кабелей для подключения устройства;

В ходе испытания проверялось качество монтажа всех компонентов устройств ПАК СР, а также испытательного лабораторного стенда согласно разработанной программе и методике испытаний (ПМИ) [75].

Порядок проведения испытаний: проверка правильности подключений питания ПАК СР путем выборочного визуального осмотра маркировки фактически подключенных к электрической сети датчиков тока и напряжения; проверка надежности фиксации болтовых, винтовых, клеммных и др. соединений [75].

Проверка качества монтажных работ выявила, что по устройству ПАК СР: монтаж оборудования соответствует согласованной и утвержденной документации; подключение датчиков соответствует схеме соединений; болтовые, винтовые, клеммные и др. соединения, обеспечивают надежную фиксацию. По испытательному лабораторному стенду: монтаж оборудования соответствует согласованной и утвержденной документации; подключение элементов соответствует схеме соединений; болтовые, винтовые, клеммные и др. соединения, обеспечивают надежную фиксацию [75].

4.3.2 Проверка работоспособности в части функционального назначения

В ходе испытания проверялась работоспособность устройств ПАК СР, в части функционального назначения. Проверка правильности выполнения функций устройствами выполняется посредством манипуляций источника питаемого напряжения испытательного лабораторного стенда и контроля за реакцией устройств на изменения [75].

Устройство имеет рабочий, автоматический режим и режимы работы по графику.

Ручной режим представляет собой режим работы, при котором потребители, подключенные к устройству, не отключаются, то есть устройство функционирует в штатном состоянии, обеспечивая постоянное питание подключенной нагрузки. В данном режиме работа потребителей не регулируется, а все подключенные к устройству элементы продолжают работать без прерывания и без изменения установленного порядка функционирования в независимости от того, от какого источника идёт питание.

Автоматический режим представляет собой режим работы, при котором при отключении ОИЭ и переходе питания потребителей на РИЭ работа потребителей регулируется в зависимости от их потребляемой мощности. В данном режиме система автоматически контролирует величину нагрузки и не допускает превышения допустимых значений. Если суммарная мощность потребителей становится выше установленного уровня, устройство автоматически отключает питание части потребителей, выбирая их в первую очередь по степени важности в технологическом процессе. Это позволяет сохранить работоспособность наиболее значимых элементов системы и предотвратить перегрузку. Восстановление электроснабжения всех потребителей происходит не сразу, а только после того, как будет восстановлено электроснабжение от ОИЭ. После возврата питания от ОИЭ система возвращается к штатной схеме работы, и отключённые ранее потребители могут быть вновь подключены в автоматическом режиме.

Режим работы по графику представляет собой такой режим работы, при котором при отключении ОИЭ и питании потребителей от РИЭ функционирование потребителей осуществляется не постоянно, а в соответствии с заранее установленным расписанием. Работа устройств, подключённых к системе, заранее регламентируется по времени: они подключаются и отключаются от питания в определённые промежутки в соответствии с заданным

графиком. При отключении ОИЭ от сети отключают потребителей, для которых резервирование электроснабжения не требуется, и блокируют возможность их повторного подключения. Затем подключают потребителей, электроснабжение которых необходимо резервировать. После повторного включения ОИЭ снимают блокировку подключения потребителей к сети и подключают к ней всех потребителей.

Испытания проводились с помощью разработанного стенда. Порядок переключений в ходе испытаний приведён в таблице функциональных испытаний 4.3.1. Последовательность переключения коммутационных аппаратов указывается в таблице следующим образом, например: «QF1+ → QF2+ → QF3+ → QF4+ → QF5+ → QF6+». Это означает, что последовательно включаются QF1, затем QF2, затем QF3+ и т.д. Остальные КА при этом должны быть отключены (знак «+» обозначает включение, знак «-» - отключение). Аналогично обозначаются другие испытательные режимы – последовательности переключений и точки подключения датчиков. В таблице 4.3.1 (таблица результатов проверки правильности функционирования устройств) приведены последовательности переключений при проведении предварительных лабораторных испытаний и указаны точки подключения датчиков устройств [71].

Проверки проводились в соответствии с ПМИ. Каждая проверка проводилась пятикратно [71].

Стенд (рисунок 4.3.1) содержит: QF1...QF6 – автоматические выключатели; QS1...QS3 – выключатели нагрузки (имитация рубильников); K1...K3 – контакторы (промежуточные реле); S1, S2, S3 – нагрузки [71].

Таблица 4.3.1 – Результаты проверки правильности функционирования устройств ПАК СР

№ п/п	Пункт проверки	Порядок проверки, время, необходимое для проведения испытаний	Порядок переключения коммутационных аппаратов и контрольные точки, в которых выполняется подключение	Критерий работоспособности	Отметка о соответствии требованиям и примечания
<i>ПАК СР в автоматическом режиме</i>					
1.	Осуществление контроля напряжения и тока в точках подключения датчиков напряжения устройства	1.Проверить мультиметром наличие напряжения в точках подключения устройства 2.Убедиться в том, что ПАК СР получает данные с датчиков наличия напряжения	Включение питания: QF1+ → QF2+ → QF3+ → QF4+ → QF5+ → QF6+ Включение реле: K1+ → K2+ → K3+	1.Имеется наличие напряжение в точках подключения датчиков напряжения устройства; 2.ПАК СР получает данные с датчиков наличия напряжения.	Соответствует
2.	Отключение K2 и K3 при превышении мощности нагрузки	1.Произвести необходимые переключения. 2.Включить потребитель большей мощности. 3.Убедиться в том, что ПАК СР отключил реле K2 и K3.	Включение питания: QF1+ → QF2+ → QF3+ → QF4+ → QF5+ → QF6+ Переключения: QF1– → QS2+ → K3– → K2– Реле K2 и K3 отключены, K1 включено.	1.При отключении QF1 произошло переключение на РИЭ. 2.После включения нагрузки, превышающей заданный предел мощности, отключились последовательно K2 и K3.	Соответствует
3.	Автоматическое включение K2 и K3 при появлении напряжения со стороны ОИЭ	1.Произвести необходимые переключения. 2. Убедиться в том, что реле K2 и K3 включены.	Включение питания: QF1+ → QF2+ → QF3+ → QF4+ → QF5+ → QF6+ Переключения: QF1– → QS2+ → K3– → K2– Реле K2 и K3 отключены, K1 включено. Переключения: QF1+	1.При включении QF1 произошло автоматическое включение K2 и K3.	Соответствует

Продолжение таблицы 4.3.1

№ п/п	Пункт проверки	Порядок проверки, время, необходимое для проведения испытаний	Порядок переключения коммутационных аппаратов и контрольные точки, в которых выполняется подключение	Критерий работоспособности	Отметка о соответствии требованиям и примечания
<i>ПАК СР в режиме работы по графику</i>					
1.	Осуществление контроля напряжения и тока в точках подключения датчиков напряжения устройства	1.Проверить мультиметром наличие напряжения в точках подключения устройства 2.Убедиться в том, что ПАК СР получает данные с датчиков наличия напряжения	Включение питания: QF1+ → QF2+ → QF3+ → QF4+ → QF5+ → QF6+ Включение потребителей: QS1+ → QS2+ → QS3+	1.Имеется наличие напряжение в точках подключения датчиков напряжения устройства; 2.ПАК СР получает данные с датчиков наличия напряжения.	Соответствует
2.	Включение реле при достижении времени работы	1.Произвести необходимые переключения. 2.Проконтролировать включение и последующее отключение К1, К2 и К3. 3.Убедиться в том, что ПАК СР включает К2 и К3 только после возобновления энергоснабжения от ОИЭ	Включение питания: QF1+ → QF2+ → QF3+ → QF4+ → QF5+ → QF6+ Переключения: QF1+ → QF2+ → QF1- → К1- → К2- → К3- → К1+ → К2+ → К3+ → К1- → К2- → К3-	1.При отключении QF1 произошло переключение на РИЭ. 2.При достижении времени работы, заданной ранее, реле включилось, и отключилось, достигнув времени отключения.	Соответствует
3.	Автоматическое включение реле при появлении напряжения со стороны ОИЭ	1.Произвести необходимые переключения. 2. Убедиться в том, что все реле включены.	Переключения: QF1+	1.При включении QF1 произошло автоматическое включение реле	Соответствует

Таким образом, функциональная проверка в ходе лабораторных испытаний устройства подтвердила выполнение им всех заданных функций.

4.4. Выводы по главе.

Разработан программно-аппаратный комплекс сезонного резервирования, ПАК СР, реализующий разработанные способы сезонного резервирования. Экспериментальный образец устройства позволяет выполнять функции контроля тока и напряжения в сети, переключений в соответствии с заданным календарным планом работы резервируемого оборудования, контроля загрузки РИЭ и предотвращения его перегрузки. Проведённые с применением разработанного стенда лабораторные испытания ПАК СР подтвердили его работоспособность и функциональность.

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СПОСОБОВ СЕЗОННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КРС

5.1 Определение капитальных вложений на реализацию ПАК СР

В таблице 5.1.1 приведены данные о комплектации и стоимости элементов ПАК СР при наличии в его составе шести ММИУ.

Таблица 5.1.1 – Стоимость комплектующих для изготовления одного устройства ПАК СР с 6 ММИУ.

Наименование элемента	Количество, шт.	Цена за ед. руб.	Итоговая стоимость, руб.
1	2	3	4
Модуль мониторинга и управления			
74НС595D, 118, 8-и битный сдвиговый регистр с выходным регистром-защелки и тремя состояниями, [SO-16]	12	15	180
0.25Вт 1206 220 Ом, 5%, Чип резистор (SMD)	90	2	180
FYL-3014UWC1A (FYL-3014WC), Светодиод белый 15° d=3мм 6000мКд	18	21	378
GNL-3014YD, Светодиод желтый 60° d=3мм 15мКд 585нм (Yellow)	18	9	162
GNL-3014UBD-TL, Светодиод синий 30° d=3мм 1200мКд 470нм (Blue)	18	18	324
GNL-3014GD, Светодиод зеленый 60° d=3мм 30-50мКд 565нм (Green)	18	8	144
GNL-3014SRT, Светодиод красный 25° d=3мм 200мКд 660нм (Red)	18	9	162
0.01 мкФ NP0 50В 5% 0805, GRM2195C1H103J, Конденсатор керамический smd	300	6	1800
LTV-817S-TA1-C, Оптопара транзисторная, (=PC817), [SMD-4]	60	24	1440
MB8S, Диодный мост 800В 0.5/0.8А [MBS] (=B8S)	36	3	108

Продолжение таблицы 5.1.1

1	2	3	4
1N4148W, Диод импульсный 100В 0.15А [SOD-123F.]	60	4	240
BZV55C6V8, Стабилитрон 6.8В, 5%, 0.5Вт, MiniMELF	48	0,3	14,4
ECAP (K50-35 мини), 10мкФ, 25В, 4х7мм, JRK1E100M01500400070000В, Конденсатор электролитический алюминиевый миниатюрный	36	5	180
HFD4/12SR (IM06GR), Реле 2 переключ.12VDC, 2А/250VAC DPDT SMD	6	200	1200
B772, Транзистор PNP 30В 3А 0.5Вт [SOT-89.]	6	5	30
0.25Вт 1206 560 Ом, 1%, Чип резистор (SMD)	60	3	180
МО-200 (С2-23) 2Вт, 115 кОм, 5%, Резистор металлооксидный	60	4	240
0.062Вт 0402 3 кОм, 5%, RC0402JR-073KL, Чип резистор (SMD)	60	2	120
LM2902DT, Счетверенный операционный усилитель малой мощности, [SO-14]	18	13	234
MMBD4148SE, Диод импульсный, 2х0.3А, 75В, последовательное включение [SOT-23-3.]	36	2	72
0.25Вт 1206 1 кОм, 1%, Чип резистор (SMD)	90	3	270
0.25Вт 1206 51 кОм, 5%, RC1206JR-0751KL, Чип резистор (SMD)	60	2	120
0.25Вт 1206 10 кОм, 1%, RC1206FR-0710KL, Чип резистор (SMD)	90	2	180
0.25Вт 1206 20 кОм, 1%, Чип резистор (SMD)	120	3	360
0.47мкФ X7R 16В 10% 0805, GRM219R71C474K, Конденсатор керамический smd	30	6	180
0.033мкФ X7R 50В 10% 0805, Конденсатор керамический smd	30	4	120
0.022мкФ X7R 50В 10% 0805, Конденсатор керамический smd	60	6	360
STM32F103C8T6, Микроконтроллер 32-Бит, Cortex-M3, 72МГц, 64КБ Flash, USB, CAN [LQFP-48.]	6	140	840
LD1117S33TR, Стабилизатор напряжения +3.3В 0.8А [SOT-223.]	6	16	96
L7805CDT-TR, Стабилизатор напряжения +5В 1.5А, [D-PAK]	6	51	306
MAX485CSA+T, Приемопередатчик RS-485/RS-422 с ограничением скорости нарастания вых. сигнала, маломощный, [SO-8]	6	110	660

Продолжение таблицы 5.1.1

1	2	3	4
ТО-2013BC-PG, Светодиод зеленый SMD 2013, 705мКд, 120°, 525нМ (Pure Green)	6	9	54
8.000МГц HC-49S, Кварцевый резонатор	6	15	90
18пФ NP0 50В 5% 0603, GRM1885C1H180J, Конденсатор керамический smd	30	3	90
3-1825910-1 (FSM16JH), Кнопка тактовая h=17 мм SPST	6	42	252
KLS7-TS6606-5.0-180, Кнопка тактовая угловая h=5.0мм	6	10	60
K50-35, 1000мкФ, 16В, 105°C, 20%, 10x17мм P:5мм, JRB1C102M05001000170000B, Конденсатор электролитический алюминиевый	12	10	120
BLM21AG102SN1D	12	4	48
0.125Вт 0805 10 кОм, 1%, Чип резистор (SMD)	60	2	120
0.125Вт 0805 100 кОм, 1%, RC0805FR-07100KL, Чип резистор (SMD)	60	2	120
0.125Вт 0805 330 Ом, 5%, RC0805JR-07330RL, Чип резистор (SMD)	60	2	120
0.25Вт 1206 120 Ом, 1%, Чип резистор (SMD)	60	3	180
D4MG, Корпус на DIN-рейку, 71x90.2x57.5мм, светло-серый	6	400	2400
300-041-12, Клеммник винтовой, 4-контактный, 5мм, прямой	36	26	936
PBS-12 (DS-1023 - 1x12), Гнездо на плату 2.54мм 1x12pin прямое	12	14	168
PBS-5 (DS-1023 - 1x5), Гнездо на плату 2.54мм 1x5pin прямое	6	7	42
PBS-7 (DS1023-1x7), Гнездо на плату 2.54мм 1x7pin прямое	12	10	120
PLD-10 (DS1021-2x5), Вилка штыревая 2.54мм 2x5pin прямая тип1	6	7	42
PLS-20 (DS1021-1x20), Вилка штыревая 2.54мм 1x20pin прямая тип1	12	12	144
PLS-5 (DS1021-1x5), Вилка штыревая 2.54мм 1x5pin прямая тип1	6	7	42
MJ-C-6.5 (DS1027-2B), Джемпер 2.54x6.5мм 2-контактный закрытый	6	7	42
0.125Вт 0805 10 кОм, 0.1%, RT0805BRD0710KL, Чип резистор (SMD)	84	10	840

Продолжение таблицы 5.1.1

1	2	3	4
0.125Вт 0805 20 кОм, 1%, RC0805FR-0720KL, Чип резистор (SMD)	90	2	180
Блок управления сезонным резервированием			
4.3" HMI дисплей DWIN DMG80480T043_A5WTC IPS 800x480 Емкостной сенсор ASIC T5L1 UART PLC Modbus (промышленный класс)	1	5800	5800
Модуль счетчика энергии JSY-MK-333G 63A	1	2 200	2 200
Конвертер TTL-RS485, MAX485	3	350	1050
Модуль разработки STM32F103C8T6 Blue pill	1	1 270	1 270
1N4148, Диод импульсный 0.15A 100В [DO-35.]	2	2	4
BZV55C6V8, Стабилитрон 0.5Вт 6.8В [LL-34 / MiniMELF / SOD-80C.]	2	2	4
0.1Вт 0603 560 Ом, 1%, RC0603FR-07560RL, Чип резистор (SMD)	2	2	4
LTV-817S-TA1-C, Оптопара с транзисторным выходом, 1-канал, 5кВ, 30мА, 35В, 200...400% [SMD-4.]	2	24	48
DS3231 RTC модуль часов реального времени (I2C)	265	1	265
Модуль флэш-памяти W25Q32 32 mbit с интерфейсом SPI	201	1	201
Модуль флэш-памяти W25Q32 32 mbit с интерфейсом SPI	714	1	714
MINI560 3.3V Fixed Step-Down DC-DC Module, Модуль питания, DC-DC преобразователь, Uвх=5-20В, Uвых=3.3В, 4А, 500кГц	150	1	150
Корпус			
Корпус на DIN-рейку	1	840	840
Изготовление комплекта печатных плат	1	5 000	5 000
		Итого:	34 640

Таблица 5.1.2. – Стоимость элементов БУСР

№	Наименование оборудования	Количество	Цена за ед., руб.	Стоимость, руб.
1	Реле промежуточное 220В	34	533	18 122
2	TDM АВР-ПНМ 3Р 63А 380В	1	6 400	6 400
3	Клеммные соединения и DIN-рейки	1	5 000	5 000
			Итого:	29 522

Таким образом, стоимость блока управления сезонным резервированием составляет 64 162 руб.

После определения стоимости устройства сезонного резервирования выполнен расчёт общих капитальных вложений системы резервирования по графику и системы сезонного резервирования электроснабжения.

Таблица 5.1.3 – Капитальные затраты системы резервирования по графику

№	Наименование оборудования	Количество	Стоимость, руб.
1	Дизельный генератор АД-250С-Т400-1РПМ11 (312,5 кВА)	1	2 288 300
2	Устройство сезонного резервирования (УСР)	1	64 162
3	Кабельные линии и монтажные материалы	1 комплект	65 000
4	Коммутационная аппаратура	1 комплект	30 000
5	Монтаж и наладка оборудования	1 комплект	80 000
		Итого:	2 527 462

Таблица 5.1.4 – Капитальные затраты системы сезонного резервирования

№	Наименование оборудования	Количество	Стоимость, руб.
1	Дизельный генератор АД-180С-Т400-1РПМ11 (225 кВА)	1	2 140 100
2	Устройство сезонного резервирования (УСР)	1	64 162
3	Кабельные линии и монтажные материалы	1 комплект	65 000
4	Коммутационная аппаратура	1 комплект	30 000
5	Монтаж и наладка оборудования	1 комплект	80 000
		Итого:	2 379 262

Для оценки экономической эффективности разработанной системы выполнено сравнение капитальных затрат с традиционной схемой резервирования, предусматривающей резервирование всех электроприёмников комплекса с использованием дизель-генераторной установки повышенной мощности и системы автоматического ввода резерва [84].

Сравнение капитальных вложений показывает, что применение системы сезонного резервирования позволяет снизить первоначальные затраты на резервное электроснабжение за счёт уменьшения мощности дизель-генераторной установки и ограничения состава одновременно подключаемых нагрузок.

Таблица 5.1.5 – Капитальные затраты традиционной схемы резервирования

№	Наименование оборудования	Количество	Стоимость, руб.
1	Дизельный генератор АД-315С-Т400-1РМ2 (394 кВА)	1	3 770 000
2	Шкаф АВР 400 А	1	276 500
3	Кабельные линии	1 комплект	95 000
4	Коммутационная аппаратура	1 комплект	45 000
5	Монтаж и наладка оборудования	1 комплект	120 000
		Итого:	4 306 500

Капиталовложения, *КВ*, руб., формируется из расходов на приобретение, транспортировку и монтаж комплектов оборудования.

$$КВ = Ц + М + ТЗ, \quad (5.1.1)$$

где *Ц* – цена оборудования, руб.;

М – затраты на монтаж, руб.;

ТЗ – транспортные затраты (7% от цены на оборудование [84]), руб.;

Стоимость комплектующих составляет:

$$Ц_{тр} = 4\,306\,500 \text{ руб.}$$

$$Ц_{ср} = 2\,527\,462 \text{ руб.}$$

$$Ц_{сез} = 2\,379\,262 \text{ руб.}$$

Транспортные затраты, *ТЗ*, тыс. руб., определяются по формуле:

$$ТЗ = \frac{7 \cdot Ц}{100}, \quad (5.1.2)$$

где 7- процент отчислений, %. Тогда:

$$ТЗ_{тр.} = \frac{7 \cdot 4\,306\,500}{100} = 301\,455 \text{ руб.}$$

$$ТЗ_{ср.} = \frac{7 \cdot 2\,527\,462}{100} = 176\,923,34 \text{ руб.}$$

$$ТЗ_{сез.} = \frac{7 \cdot 2\,379\,262}{100} = 166\,548,34 \text{ руб.}$$

Затраты на монтаж, *М*, тыс. руб., определяются по формуле:

$$М = k_M \cdot Ц, \quad (5.1.3)$$

$$М_{тр} = 0,2 \cdot 4\,306\,500 = 861\,300 \text{ руб.}$$

$$M_{\text{гр}} = 0,2 \cdot 2\,527\,462 = 505\,492,4 \text{ руб.}$$

$$M_{\text{сез}} = 0,2 \cdot 2\,379\,262 = 475\,852,4 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения:

$$KB_{\text{тр}} = (4\,306\,500 + 301\,455 + 861\,300) = 5\,469\,255 \text{ руб.}$$

$$KB_{\text{гр}} = (2\,527\,462 + 176\,92,34 + 505\,492,4) = 3\,050\,646,74 \text{ руб.}$$

$$KB_{\text{сез}} = (2\,379\,262 + 166\,548,34 + 475\,852,4) = 3\,021\,662,74 \text{ руб.}$$

Разница капитальных затрат составляет:

$$\Delta K_{\text{гр}} = 5\,469\,255 - 3\,050\,646,74 = 2\,418\,608,26 \text{ руб.}$$

$$\Delta K_{\text{сез}} = 5\,469\,255 - 3\,021\,662,74 = 2\,447\,592,26 \text{ руб.}$$

Таким образом, применение системы резервирования по графику и системы сезонного резервирования обеспечивает снижение капитальных вложений более чем на 2,4 млн и 2,45 млн рублей соответственно по сравнению с традиционной схемой полного резервирования электроснабжения.

5.2 Определение эксплуатационных издержек на реализацию разработанных устройств

Эксплуатационные издержки системы резервного электроснабжения определяются затратами на расход топлива дизель-генераторной установки, техническое обслуживание оборудования и эксплуатационные расходы системы управления.

Для оценки затрат на топливо принимается аварийный режим работы резервного источника питания продолжительностью 72 часа в год.

Данное значение принято на основании статистики аварийных отключений в сельских распределительных сетях 10/0,4 кВ, согласно которой суммарная продолжительность отключений в течение года для сельскохозяйственных потребителей может достигать 50–80 часов в год при неблагоприятных погодных условиях и повреждениях воздушных линий электропередачи.

Для расчётов в работе принимается максимально допустимое время перерывов в год, и принимается:

$$t=72 \text{ ч/год}$$

5.2.1 Определение расхода топлива ДГУ системы резервирования по графику

Для разработанной системы сезонного резервирования применяется дизель-генераторная установка ДГУ АД-250С-Т400-1РПМ11 (312,5 кВА) мощностью 250 кВт.

Согласно техническим характеристикам установки, средний расход дизельного топлива при нагрузке 70–75 % составляет [97]:

$$q_1 = 21,3 \text{ л/ч}$$

Годовой расход топлива определяется по выражению:

$$Q = q \cdot t, \quad (5.2.1)$$

Подставляя значения, получаем:

$$Q_1 = 21,3 \cdot 72 = 1533,6 \text{ л/год},$$

Стоимость дизельного топлива принимается по средним розничным ценам на территории РФ на 2026 год [101]:

$$C_{\text{топл}} = 100 \text{ руб./л}$$

Тогда годовые затраты на топливо составят:

$$З = Q_1 \cdot C_{\text{топл}}, \quad (5.2.2)$$

$$З_1 = 1533,6 \cdot 100 = 153\,360 \text{ руб./год}$$

5.2.2 Определение расхода топлива ДГУ системы сезонного резервирования

Для разработанной системы сезонного резервирования применяется дизель-генераторная установка ДГУ АД-180С-Т400-1РПМ11 (225 кВА) мощностью 180 кВт.

Согласно техническим характеристикам установки, средний расход дизельного топлива при нагрузке 70–75 % составляет [87]:

$$q_1 = 20,47 \text{ л/ч}$$

Годовой расход топлива определяется по выражению:

$$Q = q \cdot t, \quad (5.2.3)$$

Подставляя значения, получаем:

$$Q_1 = 20,47 \cdot 72 = 1\,473,84 \text{ л/год},$$

Стоимость дизельного топлива принимается по средним розничным ценам на территории РФ на 2026 год [101]:

$$C_{\text{топл}} = 100 \text{ руб./л}$$

Тогда годовые затраты на топливо составят:

$$З = Q_1 \cdot C_{\text{топл}}, \quad (5.2.4)$$

$$З_1 = 1\,473,84 \cdot 100 = 147\,384 \text{ руб./год}$$

5.2.3 Определение расхода топлива традиционной схемы резервирования

В традиционной схеме резервирования используется дизель-генераторная установка Дизельный генератор АД-315С-Т400-1РПМ2 (394 кВА) мощностью 315 кВт.

Средний расход топлива данной установки при рабочей нагрузке 70-75% составляет [98]:

$$q_2 = 22,8 \text{ л/ч}$$

Годовой расход топлива:

$$Q_2 = q_2 \cdot t$$

$$Q_2 = 22,8 \cdot 72 = 1\,641,6 \text{ л/год},$$

Годовые затраты на топливо:

$$З_2 = Q_2 \cdot C_{\text{топл}}$$

$$З_2 = 1\,641,6 \cdot 100 = 164\,160 \text{ руб./год}$$

5.2.4 Определение эксплуатационных издержек на разработанного устройства ПАК СР

Эксплуатационные издержки, $C_{\text{экспл}}$, тыс.руб./год, будут складываться из затрат на текущий ремонт, $C_{\text{тр}}$, тыс.руб./год, затрат на потребляемую электроэнергию, $C_{\text{э}}$, тыс.руб./год, затрат на передачу данных $C_{\text{пер.дан.}}$, тыс.руб./год [75]:

$$C_{\text{экспл}} = C_{\text{тр}} + C_{\text{э}} + C_{\text{пер.дан.}} \quad (5.2.5)$$

Затраты на текущий ремонт, $C_{\text{тр}}$, тыс. руб. радиоэлектронной аппаратуры рассчитаем исходя из вероятности выхода из строя компонентов и их стоимости в расчете на один год [75].

$$C_{\text{тр}} = \sum \text{затрат по компонентам} \quad (5.2.6)$$

Затраты на текущий ремонт будут составлять:

$$C_{\text{тр}} = 3,2 \text{ тыс. руб./год}$$

Затраты на потребляемую энергию, $C_{\text{э}}$, тыс.руб./год, рассчитываются:

$$C_{\text{э}} = P \cdot T_{\text{г}} \cdot C \cdot k_{\text{п}}, \quad (5.2.7)$$

где P — суммарная потребляемая мощность устройства, кВт·ч;

$T_{\text{г}}$ — годовое время работы, час.;

C — стоимость электроэнергии (тариф), тыс.руб./кВт·ч;

$k_{\text{п}}$ — коэффициент потерь электроэнергии в сети (1,04-1,08), принимаем 1,08.

Потребляемая мощность устройства ПАК СР, согласно расчетным данным, составляет в среднем 6 Вт [75].

Затраты на потребляемую энергию [75], $C_{\text{э}}$, тыс.руб./год, составят:

$$C_{\text{э}} = 0,006 \cdot 8760 \cdot 0,007 \cdot 1,08 = 0,39 \text{ тыс. руб./год}$$

Таким образом, годовые эксплуатационные издержки на одно устройство ПАК СР, $C_{\text{экспл}}$, тыс. руб./год, составят:

$$C_{\text{экспл}} = 3,2 + 0,39 = 3,59 \text{ тыс. руб./год}$$

5.3 Оценка экономического эффекта от реализации способов сокращения ущерба от недоотпуска электроэнергии животноводческим предприятиям с применением ПАК СР.

Экономическая эффективность разработанной системы сезонного резервирования определяется сравнением капитальных вложений и эксплуатационных затрат с традиционной схемой резервирования, при которой питание обеспечивается для всех электроприёмников животноводческого комплекса.

Основной экономический эффект достигается за счёт:

- снижения мощности резервного источника питания;
- уменьшения расхода дизельного топлива;
- сокращения капитальных затрат на оборудование;
- уменьшения эксплуатационных расходов;
- повышения эффективности использования резервной мощности.

В результате расчётов, выполненных в разделе 5.1.1, установлено, что капитальные вложения составляют:

для традиционной схемы резервирования:

$$K_{тр} = 5\,469\,255 \text{ руб.}$$

для схемы резервирования по графику:

$$K_{гр} = 3\,050\,646,74 \text{ руб}$$

для системы сезонного резервирования:

$$K_{сез} = 3\,021\,662,74 \text{ руб.}$$

Снижение капитальных затрат:

$$\Delta K_{гр} = K_{тр} - K_{гр} \quad (5.3.1)$$

$$\Delta K_{гр} = 5\,469\,255 - 3\,050\,646,74 = 2\,418\,608,26 \text{ руб.}$$

$$\Delta K_{сез} = K_{тр} - K_{сез} \quad (5.3.2)$$

$$\Delta K_{сез} = 5\,469\,255 - 3\,021\,662,74 = 2\,447\,592,26$$

Таким образом, применение системы сезонного резервирования позволяет уменьшить первоначальные капитальные вложения более чем на 50 %.

Эксплуатационные расходы определяются главным образом затратами на дизельное топливо.

Согласно расчётам, раздела 5.1.2, годовые эксплуатационные затраты составляют:

для традиционной схемы:

$$З_{тр}=164\,160 \text{ руб./год}$$

для системы резервирования по графику:

$$З_{гр}=153\,360 \text{ руб./год}$$

для системы сезонного резервирования:

$$З_{сез}=147\,384 \text{ руб./год}$$

Годовая экономия эксплуатационных затрат:

$$\mathcal{E}_{год.гр}=З_{тр}-З_{гр} \quad (5.3.3)$$

$$\mathcal{E}_{год.гр}=164\,160 - 153\,360 = 10\,800 \text{ руб./год}$$

$$\mathcal{E}_{год.сез}=З_{тр}-З_{сез} \quad (5.3.4)$$

$$\mathcal{E}_{год.сез}=164\,160 - 147\,384 = 16\,776 \text{ руб./год}$$

Для оценки экономической эффективности определяется коэффициент снижения эксплуатационных затрат:

$$k = \frac{З}{З_{тр}} \quad (5.3.5)$$

Подставляя значения, получаем:

$$k_{гр} = \frac{10800}{164\,160} = 0,06$$

$$k_{сез} = \frac{16\,776}{164\,160} = 0,1$$

Полученное значение показывает, что эксплуатационные расходы системы резервирования по графику и системы сезонного резервирования составляют около 94% и 90 % соответственно от затрат традиционной схемы резервирования.

Сравнение основных технико-экономических показателей представлено в таблице 5.3.1

Таблица 5.3.1 – Сравнение технико-экономических показателей

Показатель	Традиционная схема	Резервирование по графику	Сезонное резервирование
Мощность ДГУ, кВА	394	312,5	225
Капитальные вложения, руб.	5 469 255	3 050 646,74	3 021 662,74
Годовые эксплуатационные расходы, руб.	164 160	153 363,59	147 387,59
Годовой расход топлива, л	1641,6	1533,6	1473,84
Экономия капитальных затрат, руб.	-	2 418 608,26	2 447 592,26
Экономия эксплуатационных затрат, руб./год	-	10 796,41	16 772,41

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование разработанной системы сезонного резервирования является экономически оправданным.

Снижение мощности резервного источника питания обеспечивается за счёт подключения лишь наиболее ответственных электроприёмников в зависимости от сезона эксплуатации и времени суток. Это позволяет значительно сократить капитальные вложения и эксплуатационные расходы без ухудшения надёжности электроснабжения наиболее важных технологических процессов животноводческого комплекса.

Также для ПАК СР, если не учитывать замену ДГУ на установку с меньшей мощностью, экономический эффект, $\mathcal{E}$, тыс. руб./год, складывается из двух составляющих, это эффект от повышения надёжности электроснабжения потребителей (эффект от снижения недоотпуска электроэнергии), $\mathcal{E}_{\text{над}}$, тыс. руб./год, и эффект от сокращения затрат на резервирование мощностей, $\mathcal{E}_{\text{рез}}$, тыс. руб./год [75]:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{над}} + \mathcal{E}_{\text{рез}}. \quad (5.3.6)$$

$\mathcal{E}_{\text{над}}$ достигается за счёт сокращения ущерба от недоотпуска электроэнергии путём ввода резерва [75].

В [103] сказано, что в России отсутствуют рекомендации регулирующих органов по величине удельной стоимости компенсации ущерба потребителям. В зарубежной практике такой показатель регламентируется на уровне 2...4,5 долл/кВт·ч. При проведении технико-экономических расчетов электрических сетей до установления экономически обоснованной величины удельных потерь Правительство РФ рекомендует с учетом зарубежного опыта этот коэффициент принимать равным 1,5 ... 4 долл/кВт·ч. Принимаем данный коэффициент за 3,3 долл/кВт·ч, что по состоянию на 01.05.2026 составляет 250 руб./ кВт·ч, или 0,25 тыс.руб./кВт·ч [75].

Величина фактического ущерба от перерыва в электроснабжении с учетом рекомендаций может быть определена [75]:

$$Y_{\tau} = Y_{\tau1} + Y_{\tau2} + Y_{\tau3} + Y_{\tau4} + Y_{\tau5}, \quad (5.3.7)$$

где $Y_{\tau1}$ – убыток, обусловленный недовыпуском продукции, руб.;

$Y_{\tau2}$ – убыток ввиду порчи и невозвратимой потери сырья, полуфабрикатов, готовой продукции и выхода продукции пониженного качества, руб.;

$Y_{\tau3}$ – убыток от заболеваний и преждевременной выбраковки животных, руб.;

$Y_{\tau4}$ – убыток от гибели животных или растений, руб.;

$Y_{\tau5}$ – экономия (снижение убытка) на величину стоимости неизрасходованной за время перерыва электроэнергии, руб.

Убыток, обусловленный недовыпуском продукции, рассчитывается по объему фактически недополученной продукции [75]:

$$Y_{\tau1} = p_q \cdot \Delta Q, \quad (5.3.8)$$

где P_q – закупочная цена единицы полноценной основной продукции (мяса, молока, овощей и др.), руб./ натур. ед.;

ΔQ – объем фактически недополученной основной продукции, натур. ед.

При отключении электроснабжения в часы, когда происходит дойка, возникает ущерб от не выдоенной продукции. Средняя выдойка в сутки составляет 19 - 20л, на 400 голов выдойка составляет 8000л в сутки. Сумма реализации, учитывая среднюю закупочную цену в 20р/л, получаем убыток по объёму недоотпуска продукции [75]:

$$Y_{\tau 1} = 20 \cdot 8000 = 160\,000 \text{ руб.}$$

При отключении электроснабжения в часы после дойки, когда молоко находится в цистернах, возникает ущерб от порчи продукции. Вся продукция, которая была выдоена, при отключении электроснабжения не охлаждается, и, в следствии чего, портится.

Таким образом определяется убыток сельскохозяйственного предприятия при наличии информации о величине потерь продукции. В противном случае вычисляется математическое ожидание этого убытка [75].

Математическое ожидание недополучения и потерь молока на ферме при длительности перерыва в 4.88 и 72 ч (более 3 ч) для фермы на 400 голов и продуктивности 7 т молока в год на корову вычисляется из выражения [74]:

При перерыве в 4,88 часа:

$$\begin{aligned} M(\Delta Q)_1 &= q_1 \left(\frac{(27,440 - 9,649\tau) + n(-52,545 + 18,477\tau) +}{+n^2(0,366 - 0,129\tau)} \right) = \\ &= 7 \left(\frac{(27,440 - 9,649 \cdot 4,88) + 4(-52,545 + 18,477 \cdot 4,88) +}{+4^2(0,366 - 0,129 \cdot 4,88)} \right) = \\ &= 886,4 \text{ кг.}, \end{aligned} \quad (5.3.9)$$

При перерыве в 72 часа:

$$\begin{aligned} M(\Delta Q)_1 &= q_1 \left(\frac{(27,440 - 9,649\tau) + n(-52,545 + 18,477\tau) +}{+n^2(0,366 - 0,129\tau)} \right) = \\ &= 7 \left(\frac{(27,440 - 9,649 \cdot 72) + 4(-52,545 + 18,477 \cdot 72) +}{+4^2(0,366 - 0,129 \cdot 72)} \right) = \\ &= 30\,108,1 \text{ кг.}, \end{aligned} \quad (5.3.10)$$

Математическое ожидание недополучения мяса:

При перерыве в 4,88 часа:

$$\begin{aligned} M(\Delta Q)_2 &= Q_2(-0,1044 + 0,0308\tau) = \\ &= 66,3(-0,1044 + 0,0308 \cdot 4,88) = 92,7 \text{ кг.}, \end{aligned} \quad (5.3.11)$$

При перерыве в 72 часа:

$$\begin{aligned} M(\Delta Q)_2 &= Q_2(-0,1044 + 0,0308\tau) = \\ &= 66,3(-0,1044 + 0,0308 \cdot 72) = 140,1 \text{ кг.}, \end{aligned} \quad (5.3.12)$$

где q_1 – среднегодовой удой на одну корову, т;

n – поголовье коров на ферме, сотни голов;

τ – длительность перерыва, ч;

Q_2 – среднегодовой выход мяса в живом весе, т.

Среднечасовое потребление электроэнергии составило 54,94 кВт·ч, следовательно, за 4,88 ч и 72 ч недоиспользовано электроэнергии 268,1 кВт·ч. и 3955,68 кВт·ч. соответственно [75].

В результате сумма убытка фермы при перерыве в электроснабжении вычисляется [75]:

При перерыве в 4,88 часа:

$$\begin{aligned} MU_\tau &= p_{q1}M(\Delta Q)_1 + p_{q2}M(\Delta Q)_2 - b_w\Delta W = \\ &= 886,4 \cdot 20 + 92,7 \cdot 520 - 268,1 \cdot 7 = \\ &= 17\,728 + 48\,204 - 1\,876,7 = 64\,055,3 \text{ руб.}, \end{aligned} \quad (5.3.13)$$

При перерыве в 72 часа:

$$\begin{aligned} MU_\tau &= p_{q1}M(\Delta Q)_1 + p_{q2}M(\Delta Q)_2 - b_w\Delta W = \\ &= 30\,108,1 \cdot 20 + 140,1 \cdot 520 - 3955,68 \cdot 7 = \\ &= 602\,162 + 72\,852 - 27\,689,76 = 647\,323,4 \text{ руб.}, \end{aligned} \quad (5.3.14)$$

где MU_τ – расчетный убыток (математическое ожидание) на ферме от перерыва в электроснабжении, руб.;

$M(\Delta Q)_1, M(\Delta Q)_2$ – математическое ожидание потерь молока и недополучения мяса на ферме, кг; ΔW – количество электроэнергии, недоиспользованной за время перерыва в электроснабжении, кВт·ч [75];

p_{q1}, p_{q2} – цена товарного молока и мяса в живом весе, руб./кг ($p_{q1} = 20, p_{q2} = 520$) [75];

b_w – тариф на электроэнергию для сельскохозяйственных потребителей, руб./кВт·ч [75].

Далее определяется срок окупаемости установки ПАК СР, $C_{\text{ПАК СР}}$, лет:

$$C_{\text{ПАК СР}} = \frac{\sum K_{\text{ПАК СР}}}{\sum \Delta_{\text{ПАК СР}}}, \quad (5.3.15)$$

где $\sum K_{\text{ПАК СР}}$ – суммарные капитальные вложения в установку ПАК СР, руб,

$\sum \Delta_{\text{ПАК СР}}$ – суммарный эффект от повышения надёжности.

Эффект от повышения надёжности с помощью ПАК СР определяется:

$$\Delta_{\text{ПАК СР}} = \sum Y_{\text{учи с}} - \sum Y_{\text{учи с ПАК СР}}, \quad (5.3.16)$$

где $\sum Y_{\text{учи с}}$ – суммарный ущерб от аварийных перерывов в электроснабжении для всех участков сети при отсутствии ПАК СР, руб./год [75];

$\sum Y_{\text{учи с ПАК СР}}$ – суммарный ущерб от аварийных перерывов в электроснабжении для участков сети при наличии ПАК СР, руб./год (эксплуатационный расход) [75].

При перерыве в 4,88 часа:

$$\Delta_{\text{ПАК СР}} = 64\,055 - 13\,579,36 = 50\,475,64 \text{ руб/год}$$

$$C_{\text{ПАК СР}} = \frac{3\,021\,662,74}{50\,475,64} = 59,8 \text{ лет}$$

При перерыве в 72 часа:

$$\Delta_{\text{ПАК СР}} = 647\,323,4 - 153\,363,59 = 493\,959,81 \text{ руб/год}$$

$$C_{\text{ПАК СР}} = \frac{3\,021\,662,74}{493\,959,81} = 6,12 \text{ лет}$$

Таблица 5.3.2 – Математическое ожидание убытков при аварийном отключении электроснабжения

Показатель	Время перерыва 4.88 ч.	Время перерыва 72 ч.
Потеря молока, руб.	17 128	608 162
Потеря мяса, руб.	48 204	72 852
Суммарные убытки при перерыве в электроснабжении, руб.	64 055,3	647 323,4
Эффект от повышения надёжности, руб.	50 475,64	493 959,81
Срок окупаемости, лет	59,8	6,12

5.4 Выводы по главе

Рассчитанные вложения в ПАК СР при оснащении системы шестью ММИУ составили 64 162 рубля. В ходе анализа сопоставлялись капитальные затраты и расходы на эксплуатацию для разных вариантов резервирования — по расчётной мощности, с учётом графика нагрузки, а также при сезонном резервировании с использованием ПАК СР. Дополнительно отдельно учитывались расход топлива и затраты на его закупку.

В результате было установлено, что внедрение ПАК СР начинает окупаться уже на этапе приобретения резервной электростанции. Кроме того, его использование позволяет получать дополнительный экономический эффект в размере 11–16 тыс. рублей в год, что соответствует примерно 152–222 рублям экономии на каждом часу работы ДГУ за счёт снижения расхода топлива.

Помимо этого, была оценена польза от внедрения ДГУ с ПАК СР, выражающаяся в уменьшении потерь для животноводческого хозяйства. При совокупной продолжительности отключений электроэнергии 72 часа в год использование устройства позволяет избежать недополучения 3955,68 кВт·ч электроэнергии, что эквивалентно 27 689,76 руб. в год. Также предотвращаются потери продукции: снижение надоев на 30 108,1 кг в год на сумму 602 162 руб. и недополучение мяса в объёме 140,1 кг, оцениваемое в 72 852 руб. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе предложено решение научной задачи рационализации мощности резервного источника электроснабжения животноводческого предприятия КРС, сокращения энергозатрат при его использовании посредством разработки программно-аппаратного комплекса сезонного резервирования.

Основными результатами теоретических и практических экспериментальных исследований являются:

1. Отключения электроэнергии приводят к ущербам для животноводческих предприятий, значение которых зависит от совпадения момента отключения с графиком технологического процесса. Определяющими с точки зрения надёжности электроснабжения предприятий являются электрические сети 10 кВ. Исследование показателей их надёжности в условиях ДРСК показало, что поток отказов составляет $4,61 \text{ год}^{-1}$, среднее время восстановления электроснабжения – 4,88 ч, а отключения и ущербы от них носят сезонный характер по месяцам года и времени суток с максимумом в летние месяцы в дневные часы. Традиционные способы организации группового резервирования предприятий с применением ДГУ приводят к завышению мощности резервного источника электроснабжения и не учитывают сезонность отключений и сезонности технологического процесса предприятия.

2. Полученная регрессионная модель количества отключений в зависимости от месяца года и времени суток в электрических сетях 10 кВ на примере ДРСК позволила получить зависимости числа отказов в заданные месяц и час возникновения отключения, а методика определения вероятного ущерба животноводческих предприятий КРС от недоотпуска электроэнергии с учётом сезонности дала возможность оценивать вероятный ущерб для конкретных характеристик системы электроснабжения и предприятий. Для рассмотренного

примера предприятия КРС, содержащего молочную ферму и телятник вероятный ущерб от отключений в течение года составляет 123165,5 руб. Снизить ущербы возможно применением принципов сезонного резервирования. На примере рассмотренного предприятия мощность ДГУ таким образом можно снизить с 394 до 225 кВА.

3. Разработанные способы и алгоритмы сезонного резервирования предполагают включение на резервное питание только того оборудования предприятия, которое необходимо резервировать в конкретное время, когда произошло отключение электроэнергии, с учётом приоритета для технологического процесса. Это позволяет снизить необходимую мощность резервного источника, энергозатраты во время его эксплуатации при обеспечении надёжности электроснабжения животноводческих предприятий КРС.

4. Разработанный программно-аппаратный комплекс сезонного резервирования (ПАК СР) электроснабжения животноводческих предприятий КРС содержит блок управления сезонным резервированием и связанные с ним модули мониторинга и управления, что позволяет реализовать адресное резервирование электрооборудования в зависимости от момента возникновения перерыва в электроснабжении и достигать, таким образом экономии потребляемого топлива на 11% в рассматриваемом примере.

5. Капитальные вложения на ПАК СР для рассматриваемого примера предприятия составляют 64 тыс. руб. При использовании ПАК СР мощность ДГУ для рассмотренного предприятия снижается с 394 кВА до 225 кВА. Применение ПАК СР окупится уже на этапе покупки резервной электростанции и дополнительно будет приносить экономический эффект от 11 до 16 тыс. руб. в год, или от 152 до 222 руб. за каждый час использования ДГУ за счёт экономии топлива.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АВР – Автоматическое включение резерва;
КЗ – Короткое замыкание;
ПАК СР – Программно-аппаратный комплекс сезонного резервирования;
ОИЭ – Основной источник электроснабжения;
РИЭ – Резервный источник электроснабжения;
ДГУ – Дизель генераторная установка;
БУСР – Блок- управления сезонным резервированием;
ММИУ – Модуль мониторинга и управления;
УКА – Управляемый коммутационный аппарат
П – потребители;
КС – канал связи;
ТП – Трансформаторная подстанция;
ЛЭП – Линия электропередачи;
МКС – Мультиконтактные коммутационные системы;
ВИЭ – Возобновляемых источников энергии;
СИП – Самонесущий изолированный провод;
СНЭ – Система накопления электроэнергии;
ГРЭС – Государственная районная электростанция;
КТП – Комплектная трансформаторная подстанция;
УЭС – Устройство деления электрической сети;
ДЭС – Дизельные электростанции;
ГОСТ – Государственный стандарт;
ДРСК – Дальневосточная распределительная сетевая компания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анищенко, В.А. Основы надежности систем электроснабжения: пособие для студентов специальности «Электроснабжение» / В.А. Анищенко, И.В. Колосова. – Мн.: БНТУ, 2008. – 151 с.
2. Афанасьев В.В. Анализ и учет факторов, влияющих на надежность электроэнергетической системы/ В.В. Афанасьев В.М. Кожевников М.И. Данилов С.С. и др. // Энергобезопасность и энергосбережение. 2011. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-i-uchet-faktorov-vliyayuschih-na-nadezhnostelektroenergeticheskoy-sistemy> (дата обращения: 12.10.2023)
3. Балабин, А.А. Анализ работы и рекомендации по совершенствованию системы накопления электрической энергии, установленной в сельской электрической сети 0,4 кВ / А.А. Балабин, А.В. Виноградов, А.А. Лансберг // – Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 1. – С. 72-79. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-1-4-72-79
4. Белов, С.И. Усовершенствование методики определения удельной частоты отказов электроснабжения сельскохозяйственных потребителей/ С.И. Белов П.С. Петров Н.А. Дмитриев // Агроинженерия. 2020. С. 57-63; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/usovershenstvovanie-metodiki-opredeleniya-udelnoy-chastotyotkazov-elektrosnabzheniya-selskohozyaystvennyh-potrebiteley/viewer> (дата обращения: 11.10.2023).
5. Берхане, А.М. Обоснование критерия оценки надежности электроснабжения/ А.М. Берхане// Интернет-журнал науковедение. – 2015. – том 7 № 1. – С. 59. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23820217> (дата обращения: 12.10.2023)
6. Будзко, И.А. «О выборе расчетных уровней надежности в сельских электрических сетях»/ И.А. Будзко, Н.М. Зуль, Н.Н. Сырых// Известия вузов. Энергетика. — 1985. — № 7. — С. 12-17.

7. Букреев, А.В. Электрическая схема прототипа цифровой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ / А.В. Букреев, Н.С. Сорокин, А.В. Виноградов, Г. И. Манджиев // Агротехника и энергообеспечение. – 2025. – № 2(47). – С. 17-23. – EDN MMJMTT.
8. Булатов Ю.Н., Мультиагентные технологии управления в системах электроснабжения с активными потребителями// Ю.Н. Булатов, А.В. Крюков // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего ..., 2016. том. 2. С. 145–154
9. Булатов, Ю.Н., Мультиагентная система управления установками распределённой генерации/ Ю.Н. Булатов, А.В. Крюков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего ..., 2015. № 11–12. С. 97–107.
10. Буряков, Н.П. Тепловой стресс и особенности кормления молочного скота / Н.П. Буряков, М.А. Бурякова, Д.Е. Алешин // Российский ветеринарный журнал. 2016. С. 5-13; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teplovoy-stress-i-osobennosti-kormleniya-molochnogo-skota> (дата обращения: 11.09.2023)
11. Бык, Ф.Л. Использование систем накопления энергии для функционального резервирования / Ф.Л. Бык, Л.С. Мышкина // Релейная защита и автоматизация. – 2020. – № 4(41). – С. 35-39. – EDN UYOEEX.
12. Васильева, Т.Н. Анализ причин отказов электрического оборудования распределительных сетей 0,38...10 кВ / Т.Н. Васильева, Е.И. Лопатин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2011. – № 3(11). – С. 64-66. – EDN OFSKQV.

13. Веселов, Ф.В. Интеллектуальная энергосистема России как новый этап развития электроэнергетики в условиях цифровой экономики / Ф.В. Веселов, В.В. Дорофеев // Энергетическая политика. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российское энергетическое ...», 2018. № 5. С. 43–52
14. Виноградов А. В. Обоснование мощности генераторов для резервирования в секционированных линиях электропередачи / А. В. Виноградов, С. В. Крамской, А. А. Лансберг, А. В. Виноградова // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 3(56). – С. 27-34. – DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-3-27-34. – EDN RJTPMK.
15. Виноградов А.В. Некоторые статистические данные о составе распределительных электрических сетей на примере Кондровского РЭС/ А.В. Виноградов, М.М. Шабаев, Р.С. Юдкин// Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: материалы XVII международной научно-практической конференции (Орел, 02–04 декабря 2019 г.). Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019. С. 196–201
16. Виноградов А.В. Сезонное резервирование электроснабжения: принцип, устройство, алгоритм/ Виноградова А.В., Виноградов А.В, Большев В.Е, Букреев А.В.// Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. С. 124-132; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sezonnoe-rezervirovanie-elektrosnabzheniya-printsip-ustroystvo-algoritm/viewer> (дата обращения: 18.09.2023).
17. Виноградов А.В., Сезонное резервирование электроснабжения потребителей, подключенных к одной электрической сети/ А.В. Виноградов, А.Г. Ван, А.В. Виноградова // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2025. Т. 72. N1. С. 49-58. DOI: 10.22314/2658-4859-2025-72-1-49-58. EDN: VXDDSX

18. Виноградов, А. В. Особенности технологического процесса животноводческих предприятий КРС с позиции сезонности / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова, А. Г. Ван // Агротехника и энергообеспечение. – 2023. – № 3(40). – С. 5-17. – EDN HITKKJ.
19. Виноградов, А.В. Алгоритм управления резервным электроснабжением на основе сезонной приоритезации потребителей и контроля нагрузки / А.В. Виноградов, В.Е. Большев, А.Г. Ван // Техника и оборудование для села. – 2025. – № 8(338). – С. 40-43. – DOI: 10.33267/2072-9642-2025-8-40-43
20. Виноградов, А.В. Анализ времени перерывов в электроснабжении сельских потребителей и методы его сокращения за счет мониторинга технического состояния линий электропередачи / А.В. Виноградов, А.Н. Васильев, А.Е. Семенов, А.Н. Синяков, В.Е. Большев // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – №2(27). – С. 3–11
21. Виноградов, А.В. Анализ концепций построения систем электроснабжения сельских потребителей, содержащих несколько источников электрической энергии / А.В. Виноградов, А.Ю. Сейфуллин // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 2(105). – С. 32-44. – EDN FJLNCV.
22. Виноградов, А.В. Анализ работы системы накопления электрической энергии с пофазным регулированием напряжения / А.В. Виноградов, А.А. Лансберг, И.О. Голиков // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 3(48). – С. 26-35. – DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-26-35. – EDN UEOGYR.
23. Виноградов, А.В. Выбор технических средств для осуществления сезонного резервирования электроснабжения / А.В. Виноградов, А.В. Виноградова, А.В. Букреев // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 10(316). – С. 38-42. – DOI 10.33267/2072-9642- 2023-10-38-42. – EDN KSNGUY.

24. Виноградов, А.В. Обоснование мощности генераторов для резервирования в секционированных линиях электропередачи / А. В. Виноградов, С.В. Крамской, А.А. Лансберг, А.В. Виноградова // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 3(56). – С. 27-34. – DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-3-27-34. – EDN RJTPMK
25. Виноградов, А.В. Обоснование эффективности использования систем накопления электрической энергии в сельских электрических сетях 0,4 кВ / А.В. Виноградов, А.А. Лансберг, А.В. Виноградова // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 4(49). – С. 120-130. – DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-4-120-130. – EDN VICNXQ
26. Виноградов, А.В. Определение рациональных мест размещения мультиконтактных коммутационных систем / А.В. Виноградов, А.Ю. Сейфуллин, А.В. Букреев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2024. – Т. 18, № 3. – С. 82-90. – DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-3-82-90. – EDN KKBOBV.
27. Виноградов, А.В. Принципы управления конфигурацией сельских электрических сетей и технические средства их реализации / А.В. Виноградов. – Орел: Общество с ограниченной ответственностью полиграфическая фирма «Картуш», 2022. – 392 с. – ISBN 978-5-9708-0861-0. – EDN DOFZZD
28. Виноградов, А.В. Принципы управления конфигурацией электрической сети и задачи по их реализации / Виноградов А.В., Виноградова А.В., Сейфуллин А.Ю. [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 3. – С. 34-46. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-34-46. – EDN WKLJQD.
29. Виноградов, А.В. Разработка принципов управления конфигурацией сельских электрических сетей и технических средств их реализации:

- специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Виноградов Александр Владимирович, 2021. – 527 с. – EDN AUUIOC.
30. Виноградов, А.В. Система базовых показателей надежности электрических сетей для анализа журналов отключений / А.В. Виноградов, А.В. Виноградова, А.Г. Ван // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2025. – Т. 72, № 4. – С. 30-40. – DOI 10.22314/2658-4859-2025-72-4-30-40. – EDN UXPMIO.
 31. Виноградов, А.В. Способ сезонного резервирования электроснабжения и его реализация на примере овощехранилища / А.В. Виноградов, А.В. Виноградова, Д.А. Гладов // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 12(306). – С. 40-43. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-12-40-43. – EDN ADXXOA.
 32. Виноградов, А.В. Структурная схема прототипа цифровой трансформаторной подстанции / А.В. Виноградов, А.В. Букреев, Н.С. Сорокин // Агротехника и энергообеспечение. – 2025. – № 1(46). – С. 66-72. – EDN FFGHCL.
 33. Виноградов, А.В. Управление конфигурацией как концепция развития сельских электрических сетей 0,4 кВ / А.В. Виноградов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 4(57). – С. 65-72. – DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-4-65-72. – EDN ZLARRK
 34. Виноградова А.В. Методика расчёта показателей надёжности электроснабжения с учётом сезонности/ А.В. Виноградова, А.В. Виноградов; // Техника и оборудование для села. - 2023.- №6.-С.38-43. (дата обращения: 12.10.2023)
 35. Виноградова, А.В. Выбор количества и места установки секционирующих пунктов по критерию надежности электроснабжения/

- А.В. Виноградова, А.В. Виноградов, А.И. Псарёв, А.Н. и др. // Агротехника и энергообеспечение. - 2019.- №3.-С. 28-38
36. Виноградова, А.В. Повышение надёжности трансформаторных подстанций 10/0,4 КВ заменой одного трансформатора на два / А.В. Виноградова, А.В. Виноградов, Д.В. Конкин // Агротехника и энергообеспечение. – 2023. – № 3(40). – С. 65-75. – EDN XXNCND.
37. Виноградова, А.В. Повышение надёжности электроснабжения потребителей посредством применения мультиконтактных коммутационных систем в линиях электропередачи 0,4 кВ с отпайками / А.В. Виноградов, А.В. Виноградова, А.И. Псарев [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 11(114). – С. 48-64. – DOI 10.24411/2227-9407-2020-10105. – EDN TDRRLY.
38. Виноградова, А.В. Сезонное резервирование электроснабжения: принцип, устройство, алгоритм/ А.В. Виноградова, А.В. Виноградов, В.Е. Большев, А.В. Букреев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №4 (56). С. 124- 132. (дата обращения: 20.09.2023)
39. Виноградова, А.В. Структурная схема устройства сезонного резервирования электроснабжения / А.В. Виноградова, А.В. Виноградов, Д.А. Гладов // Энергетика будущего - цифровая трансформация: Сборник трудов III всероссийской научно-практической конференции, Липецк, 14–15 декабря 2022 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2022. – С. 12-16. – EDN RMFASX
40. Власенко, Е.А. Автономная электроэнергетика сельского хозяйства: состояние и перспективы/ Е.А. Власенко Р.А. Сулейманов А.А. Хамула // Ползуновский вестник. 2011. С. 9-13; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtonomnaya-elektroenergetika-selskogohozyaystva-sostoyanie-i-perspektivy> (дата обращения: 11.10.2023)

41. Воропай, Н. И. Интегрированные интеллектуальные энергетические системы / Н. И. Воропай, В. А. Стенников // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2014. – № 1. – С. 64-73. – EDN SBKDDQ
42. Воропай, Н.И. Концепция обеспечения надёжности в электроэнергетике. /Н.И. Воропай, Г.Ф. Коваёв, Ю.Н. Кучеров и др. // ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. С. 212 (дата обращения: 24.10.2023)
43. Вторый, В.Ф. Влияние погодных условий на формирование температурно-влажностного режима в коровнике/ В.Ф. Вторый, В.В. Гордеев, С.В. Вторый, Е.О. Ланцова // Вестник ВНИИМЖ. 2016. №3(23). С. 68-72; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-pogodnyh-usloviy-na-formirovanie-temperaturno-vlazhnostnogo-rezhima-v-korovnike> (дата обращения: 11.09.2023)
44. Гареев, Т.В. Схема устройства деления электрической сети на участки / Т.В. Гареев, А.В. Букреев, А.В. Виноградова, А.В. Виноградов // Агротехника и энергообеспечение. – 2023. – № 1(38). – С. 11-16. – EDN NYGTZE.
45. Герасимов, В.Г. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий: учебное пособие / В. Г. Герасимов и др. — М.: КолосС, 2010.
46. Гладкевич, В.В. Анализ источников электроснабжения в их альтернативной системе / В.В. Гладкевич // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2012. – № 2(20). – С. 31-34. – EDN PAMTWV.
47. Гордеев, В.В. Алгоритм расчёта и выбора поилок для коров/ Гордеев В.В. Хазанов В.Е. Яковлева А.В.// Universum: Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии, 2016. С. 24-28 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-raschyota-i-vybora-poilok-dlya-korov> (дата обращения: 11.09.2023)
48. Гордеев, В.В. Оценка освещённости в коровниках для фермы на 1200 дойных коров/ В.В. Гордеев, В.Е. Хазанов, А.Ф. Эрк, В.А. Размук //АгроЭкоИнженерия. 2017. С. 152-157; URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-osveschennosti-v-korovnikah-dlya-fermy-na-1200-doynyh-korov> (дата обращения: 18.09.2023).

49. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Электрическая энергия = Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems. Electrical energy: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июля 2013 г. № 400-ст: введен впервые : дата введения 2014-07-01 / подготовлен Обществом с ограниченной ответственностью «ЛИНВИТ» и Техническим комитетом по стандартизации ТК 30 «Электромагнитная совместимость технических средств» – Москва : Стандартинформ, 2014. – III, 15 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.
50. Грачева, Е.И. Исследование вероятностных характеристик систем электроснабжения / Е.И. Грачева, Р.Р. Садыков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19, № 1-2. – С. 95-101. – EDN ZBTISD
51. Грибанов, А.А. Стратегии обеспечения эксплуатационной надёжности электрооборудования сельскохозяйственного производства с учётом сезонного характера работы / А.А. Грибанов // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2-2. – С. 72-79. – EDN PBPIRD.
52. Григораш, О.В. Концепция построения систем бесперебойного электроснабжения/ О.В. Григораш М.С. Чумак А.А. Кривошей // Научный журнал КубГАУ. 2016. №119(05). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26148558> (дата обращения: 12.10.2023).
53. Дьяченко, Ю.А. Выбор средств обеспечения надежности электроснабжения птицефабрики по многокритериальной модели: специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве»: автореферат диссертации на соискание ученой

- степени кандидата технических наук / Дьяченко Юрий Александрович. – Москва, 2008. – 17 с. – EDN NKQCGH.
54. Журнал Агротехника и энергообеспечение № 3 (40) / учредитель Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина - Орёл 2023 -. - ISSN 2410-5031 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.orelsau.ru/upload/iblock/1d6/1d61db7074c2ac3271938e14ecfe48a9.pdf>
55. Журнал Агротехника и энергообеспечение № 4 (41) / учредитель Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина - Орёл 2023 -. - ISSN 2410-5031 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.orelsau.ru/upload/iblock/a61/a61324e7124b564c921f4542f0d56be4.pdf>
56. Зуль Н.М., Агаларов А.М., Молоснов Н.Ф. Методические рекомендации по определению ущерба сельскохозяйственному производству от перерывов в подаче электроэнергии. М.: ВИЭСХ, 1974
57. Зуль, Н.М. Анализ показателей надежности и некоторых параметров сельских распределительных сетей / Н.М. Зуль, А.М. Агаларов; ВИЭСХ // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1966.- №8.-С.38-42. (дата обращения: 12.10.2023)
58. Ильин, Р.М. Распределение аммиака в коровниках с естественной системой вентиляции/ Р.М. Ильин; С.В. Второй // АгроЭкоИнженерия. 2020. С. 91-98; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelenie-ammiaka-v-korovnikah-s-estestvennoy-sistemoy-ventilyatsii> (дата обращения: 11.09.2023)
59. Калькулятор цен с учетом инфляции — с 1991 года. Электронный ресурс. Заголовок с экрана. Режим доступа: https://app.2lead.ru/calc_inflyaciya_cen/ (дата обращения 10.05.2025 г.)
60. Карпов, В.П. Расчет процесса раздачи кормов КРС/ В.П. Карпов Н.В. Повалихин // Universum: Техника и технологии в животноводстве, 2013.

- С. 51-56 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-protssessa-razdachi-kormov-krs> (дата обращения: 12.09.2023)
61. Кондратьева Н.П. Повышение надежности АВР ТП 6/0,4 в режиме работы от ДЭС / Н.П. Кондратьева, А.А. Шишов, Р.Г. Большин [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 6(145). – С. 63-74. – DOI 10.24412/2227-9407-2023-6-63-74. – EDN HZBIOS.
 62. Лещинская, Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства: Учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений / Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов. – М.: КолосС, 2008. – 655 с.: ил
 63. Малышкин, С.А. Быстродействующее автоматическое включение резервного питания в электрических сетях 0,4 кВ / С.А. Малышкин, Е.С. Алексеев, А.В. Булычев // Релейная защита и автоматизация. – 2025. – № 1(58). – С. 16-20. – EDN JHFKCR.
 64. Мартынов Е.А. Автоматизация доения коров с применением манипуляторов доения/ Е.А. Мартынов, О.А. Чехунов // Universum: Техника и технологии в животноводстве. – 2015. – № 3(19). – С. 51-54. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-doeniya-korov-s-primeneniem-manipulyatorov-doeniya> (дата обращения: 11.09.2023)
 65. Массель Л.В. Методы и интеллектуальные технологии научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики/ Л.В. Массель // Энергетическая политика. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российское энергетическое ...», 2018. № 5. С. 30–42
 66. Мясоедов, Ю.В. Разработка автоматизированных систем управления в электроэнергетике / Ю.В. Мясоедов, Ж. Ван // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. – 2024. – № 107. – С. 27-30. – EDN WVYJUI
 67. Наумов, И.В. Анализ работы электрических сетей Облкоммунэнерго Иркутской области в 2019 году/ И.В. Наумов, М.Н. Полковская //

- Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 5(199). С. 118–126.
68. Наумов, И.В. Прогнозирование отказов сельских распределительных сетей напряжением 10 кВ (на примере филиала восточных электрических сетей ОАО «ИЭСК»)/ И.В. Наумов // Агротехника и энергообеспечение. – 2023. – № 4 (41)
 69. Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 09 июня 2020 г. № 1523-р
 70. Оразбекова, А.К. Анализ определения энергетических характеристик животноводческих ферм/ А.К. Оразбекова, К.А. Ибраев // Universum: технические науки, 2020. С. 35-38 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-opredeleniya-energeticheskie-harakteristiki-zhivotnovodcheskih-ferm> (дата обращения: 20.09.2023).
 71. Оразбекова, А.К. Терапевтические мероприятия при маститах коров/ А.К. Оразбекова, К.А. Сидорова, О.А. Драгич, А.Т. Роткин // Universum: Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2022. С. 227-230 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/terapevticheskie-meropriyatiya-pri-mastitah-korov/viewer> (дата обращения: 11.09.2023)
 72. Осокин, В. Л. Оценка ущерба от нарушений электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса / В. Л. Осокин // Вестник НГИЭИ. – 2025. – № 5(168). – С. 42-52. – DOI 10.24412/2227-9407-2025-5-42-52. – EDN FHLZCW.
 73. Осокин, В. Л. Проблемы оценки надежности и эффективности в современных системах электроснабжения / В. Л. Осокин // Интеллектуальная электротехника. – 2022. – № 4(20). – С. 78-94. – DOI 10.46960/2658-6754_2022_4_78. – EDN HXFVAA.

74. Осокин, В.Л. Проблемы оценки надежности и эффективности в современных системах электроснабжения/ В.Л. Осокин // Интеллектуальная электротехника/НГТУ им. РЕ Алексеева.–Нижний Новго. 2022. № 4. Р. 78-94
75. Панфилов, А.А. Разработка технических средств мониторинга и предотвращения несанкционированной подачи напряжения в сельские электрические сети 0,4 и 10 кВ. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01013693782> (Дата обращения: 15.09.2025)
76. Патент № 2780204 Российская Федерация, МПК H02J 9/04, H02H 3/05. Способ и устройство сезонного резервирования электроснабжения / Виноградов А.В., Виноградова А.В. // Заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – Заявка 2022109255, заявлено 07.04.2022, опубл. 20.09.2022, Бюл. № 26(дата обращения: 20.09.2023)
77. Патент № 2785276 Российская Федерация, МПК H02J 9/04, H02 J 13/00. Способ и устройство сезонного резервирования электроснабжения с выделением ответственной группы потребителей / Виноградов А.В., Виноградова А.В., Букреев А.В., Большев В.Е., Лансберг А.А. // Заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – Заявка 2022109266, заявлено 07.04.2022, опубл. 05.12.2022, Бюл. № 34(дата обращения: 20.09.2023)
78. Патент № 2786190 C1 Российская Федерация, МПК H02J 13/00. Способ и устройство сезонного резервирования электроснабжения с выделением трёх групп потребителей: № 2022109250: заявл. 07.04.2022: опубл. 19.12.2022 / А.В. Виноградов, А.В. Виноградова, Т.Б. Лещинская [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ". – EDN ENJEUC
79. Патент № 2786195 Российская Федерация, МПК H02 J 13/00. Способ и устройство сезонного резервирования электроснабжения с выбором

- резервного источника электроснабжения / Виноградов А.В., Виноградова А.В. // Заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – Заявка 2022111019, заявлено 22.04.2022, опубл. 19.12.2022, Бюл. № 35(дата обращения: 20.09.2023)
80. Патент № 2828477 Российская Федерация, МПК H02J 13/00, H02J 13/00. Способ сезонного резервирования электроснабжения потребителей, подключенных к одной сети/ Виноградов А.В., Виноградова А.В., Панфилов А.А., Ван А.Г.// Заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – Заявка 2024109668, заявлено 10.04.2024, опубл. 14.10.2024, Бюл. № 29(дата обращения: 20.03.2025)
81. Патент № 2851812 C1 Российская Федерация, МПК H02J 9/06, 3/12, 3/46. Способ сезонного резервирования электроснабжения потребителей с контролем нагрузки: № 2025112667: заявл. 14.05.2025: опубл. 01.12.2025 бюл. № 34 / А.В. Виноградов, А.В. Виноградова, А.Г. Ван, А.А. Панфилов; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ"
82. Перова, М.Б. Экономические проблемы и перспективы качественного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей в России / М.Б. Перова. – М.: ИНП РАН, 2007. – 142 с.
83. Петрукович, А. Ю. Повышение эффективности резервных защит автотрансформатора / А. Ю. Петрукович, Е. П. Зацепин // Нано-биотехнологии. Теплоэнергетика. Математическое моделирование : Сборник статей международной научно-практической конференции, Липецк, 27–28 февраля 2024 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2024. – С. 77-80. – EDN JIGXA
84. Попрядухин, Е. В. Анализ рынка электрогенераторов в России / Е.В. Попрядухин, С.В. Крамской, А.А. Панфилов, А.В. Виноградов //

- Агротехника и энергообеспечение. – 2024. – № 1(42). – С. 15-23. – EDN IQUZNK.
85. Потеха, А.В. Молочная пастеризационно-холодильная установка для малых сельскохозяйственных перерабатывающих предприятий/ А.В. Потеха, О.С. Огородник, М.С. Кушнерук // Universum: Сельскохозяйственный журнал, 2016. С. 164-167 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/molochnaya-pasterizatsionno-holodilnaya-ustanovka-dlya-malyh-selskohozyaystvennyh-pererabatyvayuschih-predpriyatiy> (дата обращения: 11.09.2023)
86. Разгильдеев, Г.И. Анализ электропотребления на животноводческих комплексах и птицефабриках Кемеровской области/ Г.И. Разгильдеев, Р.А. Храмцов //Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2005. С. 47-50; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-elektropotrebleniya-na-zhivotnovodcheskih-kompleksah-i-ptitsefabrikah-keмеровskoy-oblasti> (дата обращения: 13.09.2023)
87. РД 34.20.574 Указания по применению показателей надежности элементов энергосистем и работы энергоблоков с паротурбинными установками. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817220.htm>
88. Русан, В.И. Повышение надежности электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса / В.И. Русан, О.Ю. Пухальская // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2009. – № 3. – С. 41-49. – EDN SHVCMТ.
89. Санакулов, А.Х. Повышение надежности электроснабжения животноводческих комплексов и птицефабрик с учетом современных условий / А.Х. Санакулов, Л.А. Галиуллин // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. – 2016. – № 4(71). – С. 51-66. – EDN XSCTFH

90. Сводные данные об аварийных отключениях. [Электронный ресурс]. <https://drsk.ru/raskrytie-informatsii/standart-raskrytiya-informatsii-subektami-optovogo-i-roznicnogo-rynkov-elektricheskoy-energii/osnovnykh-potrebitelskikh-kharakteristikakh-reguliruemyykh-uslug/osvodnykh-dannykh-ob-avariynykh-otklyucheniyyakh-i-meropriyatiyakh-po-ikh-ustraneniyu/svodnye-dannye-ob-avariynykh-otklyucheniyyakh/>
91. Семенов, А.Е. Сравнение показателей надежности воздушных и кабельных линий в городской и сельской местности / А.Е. Семенов, А.О. Селезнева, А.В. Виноградов // Основные направления развития техники и технологии в АПК: материалы VII всероссийской научно-практической конференции / Княгинино: НГИЭУ, 2015. - С. 71 – 75.
92. Скоркин, В.К. Сравнительная экономическая оценка доения коров в молокопровод и доильном зале/ В.К. Скоркин, Д.К. Ларкин, В.П. Аксенова, О.Л. Андрюхина// Техника и технологии в животноводстве. 2015. С. 40-46; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnaya-ekonomicheskaya-otsenka-doeniya-korov-v-molokoprovod-i-doilnom-zale> (дата обращения: 12.09.2023)
93. Соснина, Е.Н. Методологические рекомендации по внедрению энергоэффективной системы генерирования электроэнергии на ТОТЭ в системы электроснабжения действующих предприятий/ Е.Н. Соснина, Л.Е. Веселов, В.И. Федорчатенко // Актуальные проблемы электроэнергетики. 2018. С. 185-189; URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35277933> (дата обращения: 11.10.2023).
94. Стребков Д.С. Повышение надежности электроснабжения объектов животноводства/ Д.С. Стребков Д.А. Тихомиров // Техника и технологии в животноводстве. 2014. С. 44-47; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-nadezhnosti-elektrosnabzheniya-obektovzhivotnovodstva/viewer> (дата обращения: 11.10.2023).

95. Судаченко, В.Н. Методика обоснования мощности и выбора оборудования источников аварийного энергоснабжения объектов сельхозпроизводства / В.Н. Судаченко, А.Ф. Эрк, Е.В. Тимофеев // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2017. – № 92. – С. 57-67. – EDN ZMEATJ (дата обращения: 18.09.2023)
96. ТСС. ДГУ АД-180С-Т400-1РПМ11: технические характеристики дизель-генератора [Электронный ресурс]. – URL: <https://generator-azimut.com/product/ad-180s-t400-1rpm11/>
97. ТСС. ДГУ АД-250С-Т400-1РПМ11: технические характеристики дизель-генератора [Электронный ресурс]. – URL: <https://generator-azimut.com/product/generator-dizelnyj-ad-250s-t400-1rpm11/>
98. ТСС. ДГУ АД-315С-Т400-1РПМ2: технические характеристики дизель-генератора [Электронный ресурс]. – URL: <https://generator-azimut.com/product/ad-315s-t400-1rpm2/>
99. Тузов, И.Н. Влияние микроклимата на молочную продуктивность коров/ И.Н. Тузов, К.Г. Сероус// Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2014. С. 115-119; URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-mikroklimata-na-molochnuyu-produktivnost-korov> (дата обращения: 11.09.2023)
100. Умаров, В. О. Цифровые подстанции их значение и преимущества / В. О. Умаров, Е. П. Зацепин // Энергетика будущего - цифровая трансформация : Сборник трудов II всероссийской научно-практической конференции, Липецк, 15–16 декабря 2021 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2021. – С. 212-215. – EDN UJKKUM.
101. Федеральная служба государственной статистики. Средние потребительские цены на дизельное топливо по Российской Федерации за 2026 год [Электронный ресурс]. — URL: <https://rosstat.gov.ru>

102. Фомин, И.Н. Структурная схема способа подключения ответственных потребителей к резервной электростанции / И.Н. Фомин, Р.П. Беликов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 3(48). – С. 20-25. – DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-3-20-25. – EDN AYHQHA.
103. Хорольский, В.Я. Техничко-экономические расчеты распределительных электрических сетей / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов, Д. В. Петров. – Ставрополь: Издательство "АГРУС", 2010. – 108 с. – EDN POKGBX.
104. Шаповалова, Е.Ю. Организация интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью / Е.Ю. Шаповалова // Экономика и социум. – 2019. – № 1-2(56). – С. 136-139. – EDN EFTKYL
105. Эйбердиева, Т.К. Автоматика в энергетике: современные технологии и перспективы применения / Т.К. Эйбердиева, И.Б. Атдаев, М.Г. Атаев // Вестник науки. – 2024. – Т. 2, № 11(80). – С. 1472-1475. – EDN FSSVXX
106. Эрк, А.Ф. Оценка эффективности использования энергосберегающих ламп для освещения сельскохозяйственных помещений/ А.Ф. Эрк, В.А. Размук, А.Н. Миронюк, Е.В. Тимофеев //АгроЭкоИнженерия, 2018. С. 35-40 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-ispolzovaniya-energoberegayuschih-lamp-dlya-osvescheniya-selskohozyaystvennyh-pomescheniy> (дата обращения: 11.09.2023)
107. Adamiak, M. Design of a priority-based load shed scheme and operation tests/ M. Adamiak et al. //IEEE Transactions on Industry Applications. – 2013. – Т. 50. – №. 1. – С. 182-187. DOI: 10.1109/TIA.2013.2260511
108. Bol'shev, V.E. Protection of Electromechanical Energy Converters in Distributed Generation Systems against Emergency Modes: Analysis of Protection Methods/ V.E. Bol'shev et al. // Technical Physics. Pleiades Publishing, 2025. Vol. 26, № 6. P. 1–6

109. Faria, P. Demand Response Approach to Scheduling Constrained Load Shifting/ P. Faria, Z. A. Vale // *Energies* (Basel). 2019. Vol. 12, № 9. P. 1752. <https://doi.org/10.3390/en12091752>
110. Gole, A. M. Guidelines for modeling power electronics in electric power engineering applications/ A. M. Gole, A. Keri, C. Kwankpa, et al/ // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – 1997. – T. 12. – №. 1. – C. 505-514. DOI: 10.1109/61.568278
111. Guerrero, J.M. Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids - A general approach toward standardization/ J.M. Guerrero et al. // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2011. Vol. 58, № 1. P. 158–172
112. Logenthiran T. Demand side management in smart grid using heuristic optimization/ T. Logenthiran, D. Srinivasan, T.Z. Shun // *IEEE Trans Smart Grid*. 2012. Vol. 3, № 3. P. 1244–1252
113. Mohamed, F.A. System modelling and online optimal management of MicroGrid using Mesh Adaptive Direct Search/ F.A. Mohamed, H.N. Koivo // *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. Elsevier, 2010. Vol. 32, № 5. P. 398–407.
114. Nasir, T. Recent Challenges and Methodologies in Smart Grid Demand Side Management: State-of-the-Art Literature Review/ T. Nasir et al. // *Math Probl Eng*. John Wiley & Sons, Ltd, 2021. Vol. 2021, № 1. P. 5821301
115. Palensky, P. Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads/ P. Palensky, D. Dietrich // *IEEE Trans Industr Inform*. 2011. Vol. 7, № 3. P. 381–388. DOI: 10.1109/TII.2011.2158841
116. Usman, R. Systematic Review of Demand-Side Management Strategies in Power Systems of Developed and Developing Countries/ R. Usman et al. // *Energies* 2022, Vol. 15, Page 7858. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022. Vol. 15, № 21. P. 7858

117. Vittal, V. Power system control and stability. / V. Vittal et al. // 3rd Edition. John Wiley & Sons, 2019. 832 p
118. Xu, Y. Discussion on the Factors Affecting the Stability of Microgrid Based on Distributed Power Supply/ Y. Xu et al. // Energy Power Eng. 2013. Vol. 05, № 04. P. 1344–1346.
119. Zafar, M.H., Bukhari, S.M.S., Houran, M.A., Moosavi, S.K.R., Mansoor, M., Al-Tawalbeh, N., Sanfilippo, F. Step towards secure and reliable smart grids in Industry 5.0: A federated learning assisted hybrid deep learning model for electricity theft detection using smart meters. / M.H. Zafar, S.M.S. Bukhari, M.A. Houran, S.K.R. Moosavi, M. Mansoor, // Energy Reports. - 2023. - V. 10. - P. 3001-3019.
120. Zhu, L. An efficient identity-based signature protocol over lattices for the smart grid. / L. Zhu, F. Jiang, M. Luo, Q. Li // High-Confidence Computing. - 2023. - V. 3 - P. 100147 (8).

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

Патенты

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 828 477** (13) **C1**

(51) МПК
H02J 13/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02J 13/00 (2024.08)

(21)(22) Заявка: **2024109668**, 10.04.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.04.2024

Дата регистрации:
14.10.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **10.04.2024**

(45) Опубликовано: **14.10.2024** Бюл. № **29**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2786190 C1, 19.12.2022. RU 2733203 C1, 30.09.2020. RU 2755156 C1, 13.09.2021. US 8754544 B2, 17.06.2014. US 8310099 B2, 13.11.2012.

Адрес для переписки:

**109428, Москва, 1-й Институтский пр-зд, 5,
ФГБНУ "ФНАЦ ВИМ", Царькова Татьяна
Викторовна**

(72) Автор(ы):

**Виноградов Александр Владимирович (RU),
Виноградова Алина Васильевна (RU),
Панфилов Александр Александрович (RU),
Ван Антон Гунминович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный
научный агроинженерный центр ВИМ"
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)**



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02J 9/06 (2025.08); H02J 3/12 (2025.08); H02J 3/46 (2025.08)(21)(22) Заявка: [2025112667](#), 14.05.2025(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.05.2025Дата регистрации:
01.12.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.05.2025

(45) Опубликовано: [01.12.2025](#) Бюл. № [34](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2828477 C1, 14.10.2024. RU 2786190 C1, 19.12.2022. RU 2733203 C1, 30.09.2020. EP 1788688 B1, 12.03.2014. JP 2012175825 A, 10.09.2012. US 8310099 B2, 13.11.2012.

Адрес для переписки:

109428, Москва, 1-й Институтский проезд,
5, ФГБНУ "ФНАЦ ВИМ", Царькова
Татьяна Викторовна

(72) Автор(ы):

Виноградов Александр Владимирович
(RU),

Виноградова Алина Васильевна (RU),

Ван Антон Гунминович (RU),

Панфилов Александр Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный
научный агроинженерный центр ВИМ"
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

Дипломы



Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»



СЕРТИФИКАТ

участнику
Международной научно-практической
конференции
«Энергообеспечение АПК»

Ван Антону Гунминовичу

Председатель оргкомитета
заместитель директора ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
профессор РАН, академик РАН

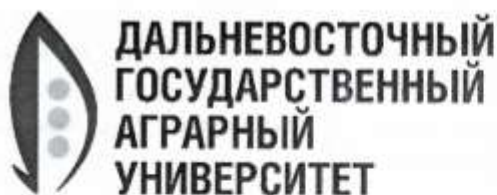



А.С. Дорохов

12-13 ДЕКАБРЯ 2024 г.
Москва, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

ПРИЛОЖЕНИЕ В.

Документы по внедрению устройства ПАК СР



Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
(Минсельхоз России)
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ)



Утверждаю

Ректор Дальневосточного ГАУ

П.В. Тихночук

20__г

АКТ

о применении результатов научного исследования
**«Разработка программно-аппаратного комплекса для сезонного резервирования
электроснабжения животноводческих предприятий»**
в учебной деятельности Дальневосточного ГАУ

Комиссия в составе: декана электроэнергетического факультета Дальневосточного ГАУ Воякина С.Н., д.т.н., доцент, зав. кафедрой электропривода и автоматизации технологических процессов электроэнергетического факультета Дальневосточного ГАУ Ижевского А.С., к.с.-х.н., доцента, и.о. заведующего кафедрой электроснабжения и теплоэнергетики РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Виноградова А.В., д.т.н., доцент, и ассистента кафедры ЭиАТП Ван А.Г., подтверждает, что результаты теоретических и экспериментальных исследований, полученные Ван А.Г. и Виноградовым А.В. при выполнении научной работы «Разработка программно-аппаратного комплекса для сезонного резервирования электроснабжения животноводческих предприятий» (шифр научной специальности 4.3.2) применяются в учебной и научной деятельности Дальневосточного ГАУ в 2026 году.

В учебный процесс внедрены:

- учебный стенда для проведения лабораторных работ по изучению способов сезонного резервирования электроснабжения животноводческих предприятий и программно-аппаратного комплекса для их реализации;

- базовые показатели и методика расчёта показателей надёжности электроснабжения сельских потребителей с учётом сезонности количества и продолжительности отключений в условиях дальневосточной распределительной сетевой компании.

Декан Электроэнергетического
факультета Дальневосточного ГАУ



Воякин С.Н.

Зав. кафедрой электропривода и
автоматизации технологических
процессов электроэнергетического
факультета Дальневосточного ГАУ



Ижевский А.С.

И.о. зав. кафедрой
электроснабжения и
теплоэнергетики имени И.А. Будзко
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева



Виноградов А.В.

Ассистент кафедры электропривода
и автоматизации технологических
процессов



Ван А.Г.