ISSN 2410-5031

Научно-практический журнал

АГРОТЕХНИКА И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ

ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА

№ 3 (40), 2023г.

ОРЕЛ 2023

ISSN 2410-5031

Научно-практический журнал

АГРОТЕХНИКА И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ

ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА



№ 3 (40), 2023г.
ОРЕЛ 2023

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – **А.В. Виноградов,** доктор технических наук, доцент, руководитель научного направления "Энергообеспечение АПК" ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, профессор кафедры "Электроснабжение" ФГБОУ ВО Орловского ГАУ.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Буяров Виктор Сергеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Васильев Алексей Николаевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории электрофизического воздействия на сельскохозяйственные объекты и материалы ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Южанников Александр Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, директор по науке и инновационной деятельности ОАО «Сибирский научно-исследовательский и проектный институт цветной металлургии».

Олин Дмитрий Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение и эксплуатация электрооборудования» ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Шарупич Вадим Павлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, академик МАЭН, директор НИПИ «Градоагроэкопром».

Черкасова Нина Ильинична, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой электроэнергетики Рубцовского индустриального института Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Барнаул.

Коношин Иван Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, начальник отдела продаж АО «Армада».

Коломейченко Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ; заведующий отделом Управления перспективных технологий Центра сельскохозяйственного машиностроения ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ».

Жосан Артур Александрович, кандидат технических наук, доцент, исполнительный директор ООО «Научная компания «Инновационные технологии по экспертизе и оценке собственности»», ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Кузнецов Юрий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Надежность и ремонт машин» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Серебряков Александр Сергеевич, доктор технический наук, профессор, профессор кафедры «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

Осокин Владимир Леонидович, кандидат технических наук кафедры «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

Шпиганович Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», член-корреспондент Российской Академии Естествознания.

Гавриченко Александр Иванович, доктор технических наук, профессор, академик МАНЭБ.

Скобло Тамара Семеновна, доктор технических наук, профессор, академик Инженерной академии Украины, профессор кафедры «Технические системы ремонтного производства» Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко.

Ковалев Михаил Михайлович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный центр лубяных культур (ФГБНУ ФНЦ ЛК).

ПЕРЕВОДЧИК – старший преподаватель **Н.В. Махиянова**

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ – кандидат технических наук, доцент **Р.П. Беликов**

Зарегистрировано в федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), номер свидетельства ПИ № ФС 77-78888, дата регистрации 28.08.2020.

Договор с РИНЦ №410-07/2014 от 15.07.2014г. **ISSN 2410-5031**

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

Адрес издателя: 302019, Россия, г. Орел, ул. Генерала Родина, д. 69, тел.: +7(4862) 76-14-51;факс: +7(4862) 76-06-64.

Адрес редакции: 302019, Орловская обл., г. Орел, ул. Генерала Родина, д. 69, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, факультет агротехники и энергообеспечения, ауд. 2-211.

Тел.: 8(4862) 76-11-07

Адрес типографии: 302028, г. Орел, бульвар Победы, 19. ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Тел.: 8(4862) 43-25-53 **E-mail: winaleksandr@yandex.ru**

Дата выхода журнала: 16.11.2023г.

© ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2023 **Тираж 100 экз.** Распространяется бесплатно

16+

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КРС С ПОЗИЦИИ СЕЗОННОСТИ 5

А.В. Виноградов[1,2], Виноградова А.В.[1], А.Г. Ван[2]

[1]ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

[2]ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЛЬСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 кВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЫПОЛНЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО КОНТРОЛЮ ЕЁ КОНФИГУРАЦИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЁ НАБЛЮДАЕМОСТИ 18

[1]Лансберг А.А., [2]Сорокин Н.С., [2]Фомин И.Н.

[1]ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

[2]ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ СЕЛЬСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4 кВ В MATLAB SIMULINK 36

Лансберг А.А.

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

ОБЗОР ОБОРУДОВАНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 6-20/0,4 КВ И СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ 48

Виноградов А.В.[1,2], Сорокин Н.С.[2]

[1] ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

[2] ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИУСАДЕБНОГО УЧАСТКА С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВА ТЭМП-3 57

Конкин Д.В., Виноградова А.В., Букреев А.В.

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 10/0,4 КВ ЗАМЕНОЙ ОДНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ДВА 65
Виноградова А.В.[1], Виноградов А.В.[1,2], Конкин Д.В.[1]
[1]ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
[2] ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УКЛАДКИ МЕШКОВ С КАРТОФЕЛЕМ НА ПОДДОНЫ 76
Белякова Е. С., Фирсов А. С., Соколов С. А., Михайличенко В. А.
ФГБОУ ВО Тверская ГСХА

УДК 631.223.2:631.17"321/324"

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КРС С ПОЗИЦИИ СЕЗОННОСТИ

А.В. Виноградов[1,2], Виноградова А.В.[1], А.Г. Ван[2]

[1]ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
[2]ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация. *Эффективное функционирование животноводческих предприятий зависит от надёжности их электроснабжения. Одним из средств её обеспечения является резервирование питания ответственных электроприёмников. Традиционные способы резервирования имеют ряд недостатков, связанных с необходимостью завышения мощности резервных источников, или высокими затратами в резервную электрическую сеть. Предлагаемые в последнее время способы сезонного резервирования позволяют избежать указанных недостатков. Однако их применение требует проведения анализа сезонности технологических процессов животноводческих предприятий и определения характеристик оборудования, ответственного за их выполнение. От сезонности технологических процессов зависит и значение ущерба, возникающего при перерывах в электроснабжении. В статье проведён анализ сезонности технологических процессов животноводческих предприятий, обзор методов расчёта ущерба от перерывов в электроснабжении, обосновано применение способов сезонного резервирования.*

Ключевые слова: *электроснабжение, технологические процессы животноводческих предприятий, надёжность электроснабжения, методики определения ущербов, сезонность, сезонное резервирование.*

Введение. Производство животноводческой продукции – это длинная цепочка из различных технологических процессов. К ним относятся: приготовление кормов; кормление и поение животных; удаление и переработка навоза; сбор продукции; забой животных на мясо; спаривание животных; выполнение различных работ по созданию и поддержанию необходимого микроклимата в помещениях.

Все указанные технологические процессы зависимы от надёжности электроснабжения и качества электроэнергии. Перерывы в электроснабжении могут привести к значительному ущербу, измеряемому десятками, а порой и сотнями тысяч рублей. Поэтому особой важностью обладает обеспечение бесперебойного снабжения электроэнергией оборудования, выполняющего указанные технологические процессы.

Приготовление кормов, кормление и поение животных. В животноводстве одним из основных факторов, влияющих на состояние животных и их продуктивность, являются корма. Основным кормом для коров является сено, солома, силос, свежая трава, кукуруза, корнеплоды, комбикорм и кормовые добавки. Процесс приготовления кормовой массы проходит через этапы измельчения и смешивания. На крупных животноводческих комплексах зачастую корма готовятся день в день или за день до раздачи. Поэтому, потеря

электроснабжения, в зависимости от её продолжительности, может привести к значительному ущербу здоровью животных и может привести даже к падежу скота.

Процесс раздачи кормов крупному рогатому скоту складывается из нескольких взаимосвязанных операций, основными из которых являются: загрузка кормов (в некоторых случаях разных кормов в разных местах), транспортировка к месту раздачи, в ряде вариантов применяемых технологий - смешивание, установка раздатчика в определенное положение относительно кормушек, и на заключительном этапе - дозирование и выдача в кормушки или на кормовой стол [1].

Правильное поение также является основополагающим критерием для обеспечения здоровья животных, а также их продуктивности. Основная потребность в воде наблюдается у дойных коров, т.к. корове требуется употребить в пять раз больше воды, чем молока, которое она произведёт. Оптимальная температура воды должна составлять от +8°С до +12°С. Употребление воды с более высокой температурой не даст освежающего воздействия, а вода с более низкой температурой может вызвать переохлаждение животного, что снизит иммунитет животного и может вызвать заболевание. Перебои в электроснабжении могут вызвать несвоевременное утоление жажды и снижает удои на 15%, а в зимний период может вызвать замерзание воды в трубах, что может нанести материальный ущерб системе водоснабжения предприятия [2].

Сбор продукции. Доение коров происходит с помощью доильных аппаратов. В зависимости от организации способов доения могут применяться различные доильные аппараты. Так, при доении коров в молокопровод применяются доильные аппараты типа АДМ 8А-100 и АДМ 8А-200, с мощностью 4,74 кВт и 8,75 кВт соответственно. В случае доения в доильном зале применяются, например, установки УДА 8А «Тандем», с потребляемой мощностью 2,2 кВт [3], По результатам исследований, роботы-дояры намного эффективнее в работе, чем традиционные доильные установки. Наиболее экономичными из установок является «Ёлочка», на втором месте - «Карусель». Сегодня некоторые производители разрабатывают доильные роботы, которые смогут работать на базе доильного зала «Карусель» и, тем самым, достигнуть еще большей эффективности и экономичности от автоматизированного доильного оборудования [4].

Доение коров происходит два раза в сутки – утром и вечером (от 06:00 до 07:00 и от 20:00 до 21:00 соответственно). В случае перебоев в подаче электроэнергии коровы будут невовремя подоены, что может вызвать сильное наполнение вымени животного. При его сильной наполненности молоко будет самостоятельно выделяться, сладкий запах молока привлечёт насекомых, которые могут укусить корову или занести инфекцию. Также молоко высыхает на сосках, стягивает кожу, возникают трещины, которые кровоточат и через них также может занестись инфекция. Возникает отёк вымени, что надолго выводит корову из списка удойных, вследствие чего предприятие терпит большие убытки на надоях [5].

Также выход из строя холодильных камер на продолжительное время грозит огромными убытками от порчи уже собранной продукции. Это особенно необходимо учитывать в летний период времени. В неохлажденном молоке быстро развиваются микроорганизмы, вызывающие его скисание. Так, при температуре 32 °С через 10 ч кислотность молока повышается в 2,8 раза, а число бактерий возрастает в 40 раз. В молоке, охлажденном до 12 °С, в течение 10 ч кислотность не увеличивается, а общее число бактерий изменяется несущественно. Таким образом, охлаждение - один из основных факторов, способствующих подавлению развития нежелательной патогенной микрофлоры и сохранению качества молока [6].

Микроклимат. Основными параметрами микроклимата, влияющими на физиологическое состояние КРС, являются температура, влажность, газовый состав атмосферы, освещенность и скорость движения воздуха. Эти параметры относят к производным, или зависящим от жизнедеятельности животных, работы машин, механизмов и аппаратов, обслуживающих помещение и животных [7].

Нормативные параметры микроклимата при привязном содержании дойных коров: температура воздуха +8…+10°С, относительная влажность 70…75%, скорость движения воздуха зимой 0,3…0,4 м/с, в переходные периоды – 0,5 м/с, освещенность – 30…70 лк [8].

Даже небольшое отклонение параметров микроклимата от нормы может привести к значительному ухудшению состояния животных. Поэтому, для поддержания показателей микроклимата, оптимальных для животных, применяют различное оборудование: вентиляторы, системы вентиляции и кондиционирования, воздушные завесы, отопительное оборудование и т.д. Работа вышеперечисленного оборудования варьируется в зависимости от природно-климатических факторов [9].

Исследования, проведённые ранее различными авторами, показывают, что на холодный период времени (с ноября по май) приходятся значительно большие затраты энергии, по сравнению с тёплым (июнь-октябрь) за счёт необходимости отопления (в случае отопления электронагревательными приборами) [10].

В летний период приоритетным является работа систем охлаждения, а зимой – систем отопления. В летний период времени без систем охлаждения животные подвергаются влиянию теплового стресса, что в значительной степени уменьшает продуктивность коров, а в худших случаях – приводит к повышению падежа животных [11]. В зимний период времени при ненормальной работе отопительных систем возникают дополнительные затраты организма животных на генерацию тепла. Также нахождение животных в низкой температурной среде приводит к заболеваниям, а порой и к гибели. В холодное время, при перебоях в питании электрооборудования систем отопления, появляется риск замерзания отопительных труб. Это может привести к аварии на предприятии.

Для поддержания нормального состояния воздушной среды в животноводческом помещении, необходимо своевременно удалять экскременты. Навоз выделяет аммиак, постоянное вдыхание воздуха даже с небольшой примесью аммиака (10 мг/м^3) неблагоприятно отражается на здоровье животных. Аммиак, растворяясь на слизистых оболочках верхних дыхательных путей, глаз, раздражает их, кроме того, он рефлекторно уменьшает глубину дыхания, следовательно, и вентиляцию легких. В результате у животных появляется кашель, слезотечение, бронхит, отек легких и др. При высоких концентрациях аммиака наступает паралич дыхания, животное погибает [12].

Исследования, проведённые в США, показали, что увеличение продолжительности светового дня до 16 часов положительно сказывается на продуктивности животных, её прирост составляет до 8% [13]. По мнению многих ученых, положительный эффект от использования освещения достигается только в том случае, если уровень освещенности составляет 160-200 лк [13]. В ночное же время показатели освещённости в животноводческом помещении понижают, что успокаивает животных.

Степень освещённости животноводческого помещения оказывает значительное влияние на развитие яйцеклеток, течку, продолжительность случного сезона, беременности животных. Недостаток света приводит к глубоким, часто необратимым качественным изменениям в половых железах у растущих животных, а у взрослых животных снижает половую активность и оплодотворяемость, или вызывает временное бесплодие, значительно

снижается продуктивность и сопротивляемость к болезням. Недостаточная освещённость животноводческих помещений негативно сказывается на работе обслуживающего персонала, что может привести к происшествиям на производстве [13].

Все эти технологические процессы качественно не зависят поголовья на животноводческом предприятии КРС, от количества голов зависит только количество оборудования и потребляемая мощность [14]. Соответственно, параметры графика нагрузки животноводческого предприятия зависят от сезонности технологических процессов (в свою очередь формируемых с учётом особенностей функционирования организма животных), поголовья скота, применяемого технологического оборудования.

Цель исследования – анализ сезонности технологических процессов животноводческих предприятий, обзор методов расчёта ущерба от перерывов в электроснабжении, обоснование применения способов сезонного резервирования электроснабжения ответственных электроприёмников.

Материалы и методы исследования

В работе применялись методы литературного обзора, теории надёжности, методы определения ущерба. Материалами исследования являлись сведения о технологических процессах на животноводческих предприятиях КРС.

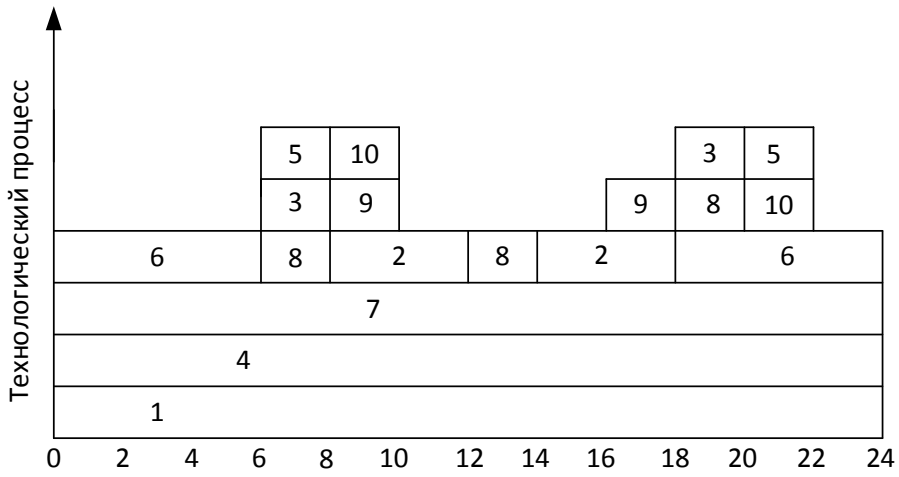
Результаты и обсуждение.

Представленные выше технологические процессы животноводческих предприятий имеют, каждый, определённую сезонность в зависимости от сезона года, месяца, времени суток [15]. В частности, как было отмечено ранее, на животноводческом предприятии работа систем охлаждения и систем отопления помещений являются процессами с ярко выраженной сезонностью в течение года. Такие технологические процессы, как доение, кормление и навозоудаление имеют сезонность в течение суток. Для животноводческих предприятий сезонность в течение суток имеет наибольшее значение.

На рисунке 1 представлена технологическая карта производственных процессов на животноводческом предприятии КРС в течении суток [16].

Ярко выраженной сезонностью в течение суток как в коровниках, так и телятниках, обладают процессы кормления, доения, уборки и транспортировки навоза, освещения, облучения новорожденных телят. К процессам, осуществляемым круглосуточно относятся водоснабжение, складирование и хранение молока, подогрев воды в телятнике. Эти факты можно учитывать при выборе методов осуществления резервирования электрооборудования, осуществляющего указанные процессы.

Традиционно резервирование электроснабжения животноводческих предприятий осуществляется от резервных линий электропередачи, или от автономных источников электроснабжения, например дизельных электростанций (ДЭС), причём резервируется вся потребляемая мощность [17]. В статье [17] предложено снижать мощность резервного источника электроснабжения, резервируя питание только ответственных электроприёмников, а в работах [18, 19, 20, 21, 22] предложены способы и устройства сезонного резервирования, алгоритм его осуществления.



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 - Технологическая карта производственных процессов на животноводческом предприятии КРС [16].

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 [18, 23] 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. В дальнейших исследованиях следует разработать новые способы сезонного резервирования, учитывающие особенности реализации технологических процессов, особенности схем электроснабжения животноводческих предприятий. Разработать оборудование для осуществления данных способов и обосновать его параметры, режимы работы, выявить технико-экономические показатели.

В работе [24] отмечена зависимость количества отказов в электрических сетях от сезона года (по месяцам) и от времени суток. А в работе [25] предложена методика расчёта надёжности электроснабжения потребителей с учётом сезонности отказов в системе электроснабжения. Эта методика может использоваться при оценке вероятного ущерба от перерывов в электроснабжении потребителей, в том числе животноводческих предприятий. Для этого необходимо сопоставлять наиболее вероятные интервалы отказов с временем осуществления технологических процессов.

В отношении практических методов определения численных значений удельных ущербов можно выделить три направления, отличающиеся детальностью исследований структуры ущерба и учетом тех или иных факторов, влияющих на него. Первое направление характеризуется упрощенным подходом к оценке удельного ущерба от нарушений

электроснабжения. Последний рекомендуется оценивать отношением прироста национального дохода, а в современных экономических условиях приростом ВВП за некоторый период времени к приросту потребления электроэнергии национальной экономикой за тот же период, т.е. электроемкостью прироста национального дохода или прироста ВВП [26].

Второе направление характеризуется подробным исследованием всех технологических процессов на рассматриваемом предприятии, детальным анализом режимов работы технологических установок и отдельных агрегатов, изучением влияния на их работу нарушений электроснабжения и длительностей этих нарушений, исследованием последствий простоев технологических установок или их отдельных агрегатов на работу смежных установок [26].

Третье направление объединяет методы оценки удельных ущербов, базирующихся на менее детальных, чем второе направление, исследованиях технологических процессов и режимов работы технологических установок, но в отличие от первого позволяющие определять удельные ущербы дифференцированно по отдельным предприятиям и отраслям экономики в зависимости от достаточно важных в расчетах надежности факторов — вида и степени ограничения нагрузки, длительности ограничения электроснабжения и времени восстановления технологического процесса после подачи электропитания [26].

Ущербы от перерывов в электроснабжении следует определять исходя из конкретных условий каждого хозяйства, основываясь на методике, представленной в [27].

В общем случае ущерб равен [27]:

$$Y = Y_1 + Y_2 - \theta K_э \quad (1)$$

где Y_1 – основной ущерб, обусловленный недоиспользованием основных фондов предприятий, а также снижением продуктивности животных, составляющих значительную часть стоимости фермы, руб.

Y_2 – дополнительный ущерб, вызванный порчей сырья и оборудования, порчей или невозвратимой потерей готовой продукции и полуфабрикатов, а также гибелью животных или снижением их продуктивности, руб.

θ – количество недоотпущенной электроэнергии за определённый период времени, за который определяется ущерб, кВт·ч

$K_э$ – стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч

Основной ущерб по сельскохозяйственному предприятию, объекту (процессу) можно определить по формуле [27]:

$$Y_1 = \frac{З}{T_р \cdot П} \cdot П_I \quad (2)$$

где П – среднее количество выработанной продукции за сутки при нормальной работе предприятия (объекта), кг, л. молока, шт. яиц и т.д.;

$П_I$ – количество недовыработанной продукции вследствие перерывов в электроснабжении с учётом недовыработки продукции во время перерывов и в последующее время после восстановления электроснабжения, л, кг и т.д. После перерывов в электроснабжении для некоторых процессов сельскохозяйственного производства характерно снижение продуктивности, связанное с биологическими особенностями, например, снижение удоев коров, яйценоскость кур и т.п., что должно учитываться при подсчёте $П_I$;

$Т_р$– время работы объекта (предприятия) в году, сутки;

З – годовые затраты при нормальной работе предприятия, руб.

Дополнительный ущерб в общем виде определяется выражением [27]

$$Y_2 = Y_1' + Y_2' + Y_3' + Y_4' \quad (3)$$

где Y_1' – ущерб от прстоя рабочей силы, руб.;

Y_2' – ущерб от брака и недоработки продукции за время практического простоя предприятия, руб.

Y_3' – ущерб от дополнительной оплаты основным и временно привлечённым рабочим для ручного выполнения той или иной операции, руб.

Y_4' – ущерб от дополнительных расходов (транспортные расходы, стоимость материала), руб.

Представленная выше методика в целом отражает сезонность технологических процессов животноводческих предприятий и зависимость значений ущербов от неё, но указанные в [27] коэффициенты определены для условий 1960-1970-х годов и требуют уточнения с учётом особенностей современного оснащения предприятий. Также целесообразно усовершенствовать данную методику с учётом сезонности отказов в системе электроснабжения животноводческих предприятий, рассмотренной в [25].

Вывод

Сезонность технологических процессов на животноводческих предприятиях обусловлена, в первую очередь, биологическими особенностями функционирования организма животных, крупного рогатого скота. Это касается и сезонности по месяцам года в части поддержания необходимых параметров микроклимата, и сезонности суточной, связанной, кроме микроклимата, также с процессами дойки, кормления и т.д.

Сезонность технологических процессов влияет на графики нагрузки животноводческих предприятий, на ущербы от перерывов в электроснабжении. Для сокращения ущербов необходимо осуществлять резервное электроснабжение ответственных электроприёмников, осуществляющих соответствующие технологические процессы. Наиболее перспективным является применение способов и средств сезонного резервирования, позволяющих минимизировать соответствующие затраты и ущербы.

Оценка ущерба от перерывов в электроснабжении должна учитывать сезонность работы оборудования, осуществляющего технологические процессы животноводческих предприятий и сезонность отказов в системах их электроснабжения.

Список использованных источников

1. Карпов В.П. Расчет процесса раздачи кормов КРС/ Карпов В.П. Повалихин Н.В.// Universum: Техника и технологии в животноводстве, 2013. С. 51-56 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-protsessa-razdachi-kormov-krs (дата обращения: 12.09.2023)

2. 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)

3. Скоркин В.К. Сравнительная экономическая оценка доения коров в молокопровод и доильном зале/ 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).

4. Мартынов Е.А. Автоматизация доения коров с применением манипуляторов доения/ Мартынов Е.А. Чехунов О.А.// 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)

5. Оразбекова А.К. Терапевтические мероприятия при маститах коров/ Сидорова К.А. Драгич О.А. Ротькин А.Т.// 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)

6. Потеха А.В. Молочная пастеризационно-холодильная установка для малых сельскохозяйственных перерабатывающих предприятий/ Потеха А.В. Огородник О.С. Кушнерук М.С.// 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)

7. 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).

8. 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-energosberegayuschih-lamp-dlya-osvescheniya-selskohozyaystvennyh-pomescheniy (дата обращения: 11.09.2023).

9. 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).

10. 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-kemerovskoy-oblasti (дата обращения: 13.09.2023).

11. 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).

12. Ильин Р.М. Распределение аммиака в коровниках с естественной системой вентиляции/ Р.М. Ильин; С.В. Вторый // АгроЭкоИнженерия. 2020. С. 91-98; URL: https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelenie-ammiaka-v-korovnikah-s-estestvennoy-sistemoy-ventilyatsii (дата обращения: 11.09.2023).

13. 4. Гордеев В.В. Оценка освещенности 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).

14. Оразбекова А.К. Анализ определения энергетических характеристик животноводческих ферм/ Оразбекова А.К. Ибраев К.А.// Universum: технические науки, 2020. С. 35-38 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-opredeleniya-energeticheskie-harakteristiki-zhivotnovodcheskih-ferm (дата обращения: 20.09.2023).

15. 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).

16. Оразбекова А.К. Анализ определения энергетических характеристик животноводческих ферм/ Оразбекова А.К. Ибраев К.А.// Universum: технические науки, 2020. С. 35-38 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-opredeleniya-energeticheskie-harakteristiki-zhivotnovodcheskih-ferm (дата обращения: 20.09.2023)

17. 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)

18. Виноградова А.В., Виноградов А.В., Большев В.Е., Букреев А.В. Сезонное резервирование электроснабжения: принцип, устройство, алгоритм // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №4 (56). С. 124- 132. (дата обращения: 20.09.2023)

19. Виноградов А.В., Виноградова А.В., Гладов Д.А. Способ сезонного резервирования электроснабжения и его реализация на примере овощехранилища // Техника и оборудование для села. 2022. № 12 (306). С. 40-43. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-12-40-43(дата обращения: 20.09.2023)

20. 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)

21. 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)

22. 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)

23. Виноградов А.В., Виноградова А.В., Гладов Д.А. Способ сезонного резервирования электроснабжения и его реализация на примере овощехранилища // Техника

и оборудование для села. 2022. № 12 (306). С. 40-43. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-12-40-43(дата обращения: 20.09.2023)

24. Зуль, Н.М. Анализ показателей надежности и некоторых параметров сельских распределительных сетей / Зуль Н.М., Агаларов А.М.; ВИЭСХ // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1966.- №8.-С.38-42. (дата обращения: 20.09.2023)

25. Виноградова, А. В. Методика расчёта показателей надёжности электроснабжения с учётом сезонности / А. В. Виноградова, А. В. Виноградов // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 6(312). – С. 39-44. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-6-39-44. – EDN KWTQWK

26. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. — 188 с.: ил (дата обращения: 18.09.2023).

27. Методика по определению ущербов сельскохозяйственному производству от перерывов в подаче электроэнергии (проект). Зуль Н.М., Агаларов А.М., Молоснов Н.Ф. М.: Научно-методический отдел ВИЭСХа, 1971. (дата обращения: 18.09.2023)

Bibliography

1. Karpov V.P. Calculation of the process of distributing cattle feed/ Karpov V.P. Povalikhin N.V.// Universum: Technique and technologies in animal husbandry, 2013. pp. 51-56 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-protsessa-razdachi-kormov-krs (accessed: 12.09.2023)

2. Gordeev V.V. Algorithm of calculation and selection of drinkers for cows/ Gordeev V.V. Khazanov V.E. Yakovleva A.V.// Universum: Proceedings of the Velikiye Luki State Agricultural Academy, 2016. pp. 24-28 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-raschyota-i-vybora-poilok-dlya-korov (accessed: 11.09.2023)

3. Skorkin V.K. Comparative economic assessment of milking cows in the milk pipeline and milking parlor / D.K. Larkin V.P. Aksenova O.L. Andriukhina// Equipment and technologies in animal husbandry. 2015. pp. 40-46; URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnaya-ekonomicheskaya-otsenka-doeniya-korov-v-molokoprovod-i-doilnom-zale (accessed: 12.09.2023).

4. Martynov E.A. Automation of milking cows using milking manipulators/ Martynov E.A. Chekhov O.A.// Universum: Technique and technologies in animal husbandry. – 2015. – № 3(19). – Pp. 51-54. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-doeniya-korov-s-primeneniem-manipulyatorov-doeniya (accessed: 11.09.2023)

5. Orazbekova A.K. Therapeutic measures for cow mastitis/ Sidorova K.A. Dragich O.A. Rotkin A.T.// Universum: Izvestiya Orenburg State Agrarian University, 2022. pp. 227-230 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/terapevticheskie-meropriyatiya-pri-mastitah-korov/viewer (accessed: 11.09.2023)

6. Potekh A.V. Dairy pasteurization and refrigeration unit for small agricultural processing enterprises/ Potekh A.V. Ogorodnik O.S. Kushneruk M.S.// Universum: Agricultural Journal, 2016. pp. 164-167 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/molochnaya-pasterizatsionno-holodilnaya-ustanovka-dlya-malyh-selskohozyaystvennyh-pererabatyvayuschih-predpriyatiy (accessed: 11.09.2023)

7. Tuzov I.N. Influence of microclimate on dairy productivity of cows/ I.N. Tuzov, K.G. Serous// Collection of scientific papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine. 2014. pp. 115-119; URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-mikroklimata-na-molochnuyu-produktivnost-korov (accessed: 11.09.2023).

8. Erk A. F. Evaluation of the efficiency of using energy-saving lamps for lighting agricultural premises/ A. F. Erk V. A. Razmuk A. N. Mironyuk E. V. Timofeev Agroecoengineering, 2018. pp. 35-40 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-ispolzovaniya-energosberegayuschih-lamp-dlya-osvescheniya-selskohozyaystvennyh-pomescheniy (accessed: 11.09.2023).

9. Vtoriy V.F. The influence of weather conditions on the formation of temperature and humidity conditions in the cowshed/ V.F. Vtoriy, V.V. Gordeev, S.V. Vtoriy, E.O. Lantsova // Bulletin of VNIIMZH. 2016. No.3(23). PP. 68-72; URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-pogodnyh-usloviy-na-formirovanie-temperaturno-vlazhnostnogo-rezhima-v-korovnike (accessed: 11.09.2023).

10. Razgildeev G.I. Analysis of power consumption at livestock complexes and poultry farms of the Kemerovo region/ G.I. Razgildeev R.A. Khramtsov Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2005. pp. 47-50; URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-elektropotrebleniya-na-zhivotnovodcheskih-kompleksah-i-ptitsefabrikah-kemerovskoy-oblasti (accessed: 13.09.2023).

11. Buryakov N.P. Heat stress and peculiarities of feeding dairy cattle / N.P. Buryakov, M.A. Buryakova, D.E. Alyoshin // Russian Veterinary Journal. 2016. pp. 5-13; URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teplovoy-stress-i-osobennosti-kormleniya-molochnogo-skota (accessed: 11.09.2023).

12. Ilyin R.M. Distribution of ammonia in cowsheds with a natural ventilation system/ R.M. Ilyin; S.V. Vtoriy // Agroecoengineering. 2020. pp. 91-98; URL: https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelenie-ammiaka-v-korovnikah-s-estestvennoy-sistemoy-ventilyatsii (accessed: 11.09.2023).

13. 4. Gordeev V.V. Assessment of illumination in cowsheds for a farm for 1200 dairy cows/ V.V. Gordeev, V.E. Khazanov, A.F. Erk, V.A. Razmuk //Agroecoengineering. 2017. pp. 152-157; URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-osveschennosti-v-korovnikah-dlya-fermy-na-1200-doynyh-korov (accessed: 18.09.2023).

14. Orazbekova A.K. Analysis of determination of energy characteristics of livestock farms/ Orazbekova A.K. Ibraev K.A.// Universum: technical sciences, 2020. pp. 35-38 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-opredeleniya-energeticheskie-harakteristiki-zhivotnovodcheskih-ferm (accessed: 20.09.2023).

15. Vinogradov A.V. Seasonal reservation of power supply: principle, device, algorithm/ Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Bolshev V.E., Bukreev A.V.// Bulletin of Kazan State Power Engineering University. 2022. pp. 124-132; URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sezonnoe-rezervirovanie-elektrosnabzheniya-printsip-ustroystvo-algoritm/viewer (accessed: 18.09.2023).

16. Orazbekova A.K. Analysis of determination of energy characteristics of livestock farms/ Orazbekova A.K. Ibraev K.A.// Universum: technical sciences, 2020. pp. 35-38 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-opredeleniya-energeticheskie-harakteristiki-zhivotnovodcheskih-ferm (accessed: 20.09.2023)

17. Sudachenko, V. N. Methodology for substantiating the power and equipment selection of emergency power supply sources for agricultural production facilities / V. N. Sudachenko, A. F. Erk, E. V. Timofeev // Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products. – 2017. – No. 92. – pp. 57-67. – EDN ZMEATJ (accessed: 18.09.2023)

18. Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Bolshev V.E., Bukreev A.V. Seasonal redundancy of power supply: principle, device, algorithm // Bulletin of Kazan State Power Engineering University. 2022. Vol. 14. No. 4 (56). pp. 124- 132. (accessed: 20.09.2023)

19. Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Gladov D.A. Method of seasonal reservation of electricity supply and its implementation on the example of a vegetable storehouse // Machinery and equipment for the village. 2022. No. 12 (306). pp. 40-43. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-12-40-43(accessed: 20.09.2023)

20. Patent No. 2780204 Russian Federation, IPC H02J 9/04, H02H 3/05. Method and device of seasonal reservation of power supply / Vinogradov A.V., Vinogradova A.V. // Applicant and patent holder of the Federal State Budgetary Institution FNAC VIM. – Application 2022109255, filed 07.04.2022, publ. 20.09.2022, Bul. No. 26(accessed: 20.09.2023)

21. Patent No. 2785276 Russian Federation, IPC H02J 9/04, H02 J 13/00. Method and device of seasonal reservation of power supply with the allocation of a responsible group of consumers / Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Bukreev A.V., Bolshev V.E., Lansberg A.A. // Applicant and patent holder of FGBNU FNAC VIM. – Application 2022109266, announced 07.04.2022, publ. 05.12.2022, Bul. No. 34(accessed: 20.09.2023)

22. Patent No. 2786195 Russian Federation, IPC H02 J 13/00. Method and device of seasonal reservation of power supply with the choice of a backup power supply source / Vinogradov A.V., Vinogradova A.V. // Applicant and patent holder of the Federal State Budgetary Institution FNAC VIM. – Application 2022111019, announced 22.04.2022, publ. 19.12.2022, Bul. No. 35(accessed: 20.09.2023)

23. Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Gladov D.A. The method of seasonal reservation of power supply and its implementation on the example of a vegetable storehouse // Machinery and equipment for the village. 2022. No. 12 (306). pp. 40-43. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-12-40-43 (accessed: 20.09.2023)

24. Zul, N.M. Analysis of reliability indicators and some parameters of rural distribution networks / Zul N.M., Agalarov A.M.; RESH // Mechanization and electrification of socialist agriculture. - 1966.- No. 8.-p.38-42. (accessed: 09/20/2023)

25. Vinogradova, A.V. Methodology for calculating indicators of reliability of power supply taking into account seasonality / A.V. Vinogradova, A.V. Vinogradov // Machinery and equipment for the village. – 2023. – № 6(312). – Pp. 39-44. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-6-39-44. – EDN KWTQWK (accessed: 20.09.2023)

26. Nepomnyashchy V.A. Economic losses from power supply disruptions to consumers. — M.: Publishing House of MEI, 2010. — 188 p.: il (accessed: 18.09.2023).

27. Methodology for determining damages to agricultural production from interruptions in the supply of electricity (project). Zul N.M., Agalarov A.M., Molosnov N.F. M.: Scientific and Methodological Department of RESHA, 1971. (accessed: 18.09.2023)

А.В. Виноградов, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, тел. 8(920)2879024, e-mail: winaleksandr@gmail.com

А.В. Виноградова, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, тел. 8(920)8079424, e-mail: alinawin@rambler.ru

А.Г. Ван, аспирант, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Тел. 8(924)3431188 e-mail: toni.van.2000@mail.ru

THE FEATURES OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF CATTLE BREEDING ENTERPRISES, FROM PERSPECTIVE OF SEASONALITY

A.V. Vinogradov[1,2], Vinogradova A.V.[1], A.G. Wang[2]

[1]FGBNU FNAC VIM
[2]FSBEI HE RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazeva

Abstract. The efficient functioning of livestock enterprises depends on the reliability of their power supply. The power redundancy for critical electrical receivers is one of the means of the provide. Traditional backup methods have a number of disadvantages associated with the need to overestimate the power of backup sources, or high costs for the backup electrical network. Recently proposed methods of seasonal reservation allow one to avoid these disadvantages. However, their use requires an analysis of the seasonality of technological processes of livestock enterprises and determination of the characteristics of the equipment responsible for their implementation. The significance of the damage that occurs during interruptions in power supply also depends on the seasonality of technological processes. The article analyzes the seasonality of technological processes of livestock enterprises, reviews methods for calculating damage from interruptions in power supply, and substantiates the use of seasonal reservation methods.

Keywords: power supply, technological processes, reliability of power supply, microclimate, methods of damage determination, seasonality.

Vinogradov A.V., PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Laboratory for Electricity and Heat Supply, Moscow, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5, e-mail: winaleksandr@gmail.com
Vinogradova A.V., Ph.D., Leading Researcher, Laboratory of Electricity and Heat Supply, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, alinawin@rambler.ru
A.G. Wang, Postgraduate student FSBEI HE RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazeva e-mail: toni.van.2000@mail.ru

УДК 621.315.1(1-22):621.3.027.5001.5:621.395.66

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЛЬСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 кВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЫПОЛНЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО КОНТРОЛЮ ЕЕ КОНФИГУРАЦИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЕ НАБЛЮДАЕМОСТИ

[1]Лансберг А.А., [2]Сорокин Н.С., [2]Фомин И.Н.

[1]ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
[2]ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»

Аннотация. *В настоящее время для повышения надежности электроснабжения распределительных электрических сетей 6-10 кВ в них внедряются реклоузеры, реализующие функции сетевого секционирования и резервирования линий электропередачи, что при возникновении аварийных режимов работы сети позволяет значительно снизить время и количество перерывов в электроснабжении потребителей. В данной работе представлено исследование режимов работы кольцевой электрической сети 10 кВ, запитанной от подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ, находящейся в зоне эксплуатационной ответственности филиала ПАО «Россети Центр» – «Орелэнерго», по допустимым отклонениям напряжения при нормальном режиме работы и аварийных ситуациях, возникающих на участках сети и при отказах источников питания. На основании проведенного расчета параметров рассматриваемой электрической сети 10 кВ выявлено, что в различных режимах отклонение напряжения от номинального не выходит за рамки, установленные ГОСТ 32144-2013, что позволяет продемонстрировать эффективность внедрения реклоузеров. Полученные в работе параметры режимов работы электрической сети 10 кВ могут быть использованы при разработке устройства бесканального дистанционного мониторинга и контроля выключателей в отходящих линиях электропередачи.*

Ключевые слова: *реклоузер, электрическая сеть, качество электроэнергии, падение напряжения, трансформаторная подстанция, силовой трансформатор, полная мощность, коммутационный аппарат, воздушная линия, номинальный ток.*

Введение

В настоящее время с целью повышения надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей в распределительные электрические сети внедряются интеллектуальные устройства, осуществляющие контроль и мониторинг параметров электрической сети, производящие управление электрической сетью в зависимости от режимов ее работы [1-6].

Наиболее распространенным техническим решением по автоматизации электрических сетей, является реклоузер, предназначенный для коммутации воздушных линий электропередачи среднего класса напряжения 2,4-38 кВ, содержащий следующие основные элементы: вакуумный высоковольтный выключатель, контактные выводы которого выполнены в виде токовых вводов реклоузера; трансформаторы тока проходного типа, закрепленные на токовых вводах; микроконтроллерный блок управления [7-12].

При установке реклоузеров в электрическую сеть значительно повышается количество возможных режимов работы сети, так как при авариях осуществляется отключение поврежденных участков и подается питание на неповрежденные участки. В связи с этим, актуальной задачей является выявление допустимых режимов работы электрической сети 10 кВ с реклоузерами, при авариях в которой потребители будут обеспечены качественной электроэнергией, т.е. отклонение напряжения от номинального не будет выходить за допустимые рамки ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Цель исследования заключается в расчете фактических значений напряжения на распределительных устройствах высокого напряжения трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, запитанных от кольцевой электрической сети 10 кВ, содержащей реклоузеры, при различных режимах ее работы, и выявлении соответствия отклонения напряжения допустимым нормам.

Материал и методы исследования. Объектом исследования является кольцевая электрическая сеть 10 кВ, получающая питание от разных секций шин низкого напряжения подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ. Предметом исследования являются отклонения напряжения на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ рассматриваемой электрической сети при разных режимах ее работы, а именно: при нормальном режиме работы сети, при авариях на участках электрической сети, при выходе из строя одной из секции шин подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ.

Особенность исследования заключается в том, что отклонение напряжения от номинального в работе представлено по топологии энергосистемы от шин среднего напряжения подстанции «Орловская Районная» 220/110/10 кВ до самих трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, запитанных от шин низкого напряжения подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ.

Специалистами филиала ПАО «Россети Центр» – «Орелэнерго» были предоставлены модель рассматриваемой электрической сети 10 кВ с реклоузерами, марки проводов, протяженность участков сети; а также нагрузки трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ рассматриваемой кольцевой сети, обмоток низкого и высокого напряжения силовых трансформаторов ТДТН-10000 подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ, протяженность, марка, сечение проводов и нагрузки ВЛ 110 кВ «Орловская ТЭЦ - Орловская Районная №3» и ВЛ 110 кВ «Мценск - Орловская Районная I цепь с отпайками», по которым подстанция «Куликовская» 110/35/10 кВ присоединена к энергосистеме Орловской области. Результаты замеров нагрузки на перечисленных элементах энергосистемы представлены в таблице 1 и взяты за зимний режимный день 2019 года, в связи с тем, что замеры нагрузки на ТП 10/0,4 кВ осуществлялись в данный период.

Таблица 1 – Нагрузка присоединений подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ и ВЛ 110 кВ, по которым подстанция присоединена к энергосистеме Орловской области

Линия электропередачи / Присоединение	Активная мощность	Реактивная мощность	Полная мощность
	P, кВт	Q, квар	S, кВА
Ввод силового трансформатора 110 кВ «Куликовская» 110/35/10 кВ	4956	1601	5171
Ввод силового трансформатора 10 кВ «Куликовская» 110/35/10 кВ	3442	972	3548
ВЛ 110 кВ «Орловская ТЭЦ - Орловская Районная №3 с отпайками»	17500	3200	17790
ВЛ 110 кВ «Мценск - Орловская Районная I цепь с отпайками»	19500	1600	19565
Фидер №1 ВЛ 10 кВ, запитанный от подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ	1266	157	1272
Фидер №5 ВЛ 10 кВ, запитанный от подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ	876	208	909

Выполним исследование различных режимов работы кольцевой сельской электрической сети 10 кВ с учетом данных, представленных в таблице 1.

Результаты исследования и их обсуждение

На рисунке 1 представлена модель рассматриваемой кольцевой электрической сети 10 кВ с тремя установленными в ней реклоузерами REC87-REC89, запитанной от разных секций шин низкого напряжения подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ при нормальном режиме работы, т.е. в случае, когда фидер №1 запитан от первой секции шин 10 кВ, а фидер №5 – от второй секции шин 10 кВ, при этом реклоузер REC88 отключен и работает в режиме реализации функции сетевого автоматического ввода резервного питания (АВР).

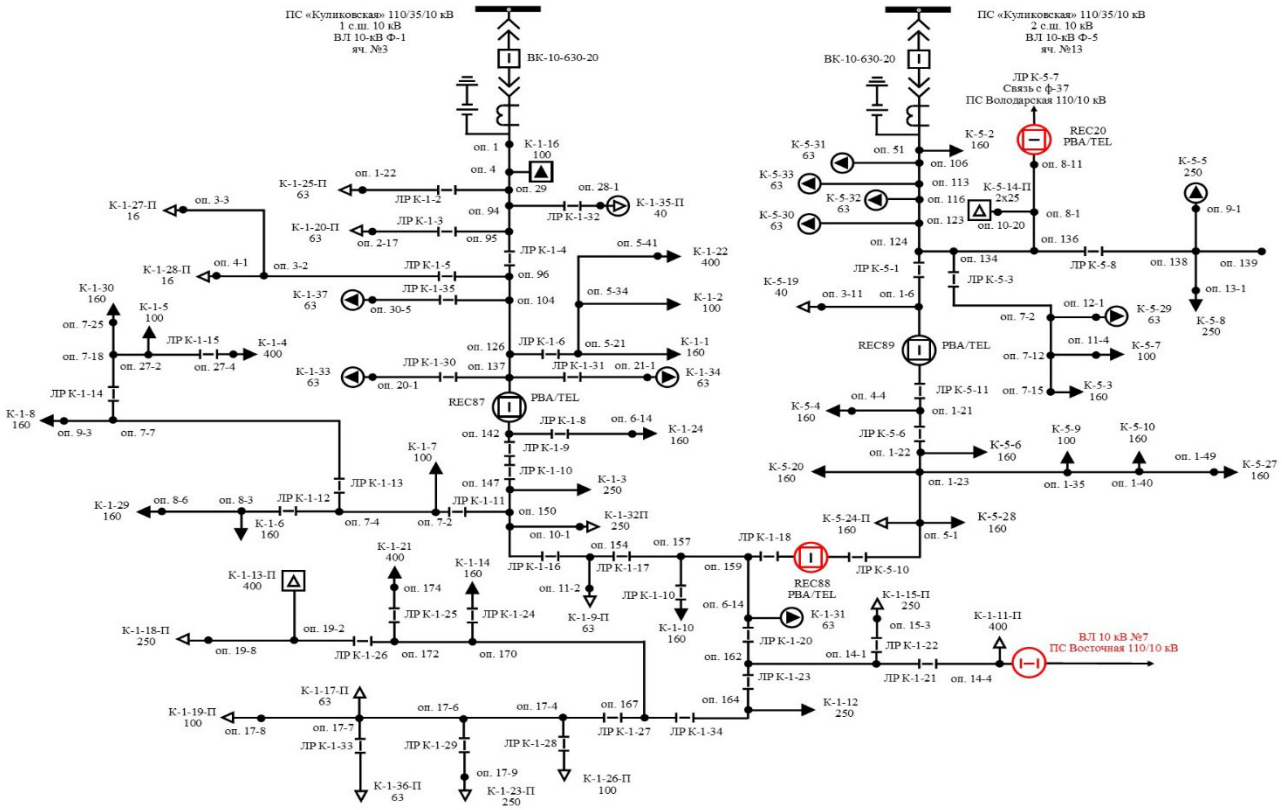


Рисунок 1 – Модель кольцевой электрической сети 10 кВ с реклоузерами, запитанной от шин низкого напряжения подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ, при нормальном режиме работы

В рассматриваемой кольцевой электрической сети 10 кВ с реклоузерами, представленной на рисунке 1, возможны и другие режимы работы, так 3 установленных в электрической сети реклоузера делят ее на 4 участка, при авариях на каждом из которых

выключатели фидерных ячеек подстанции и сами реклоузеры будут производить реконфигурацию электрической сети и выделение поврежденного участка. Наиболее тяжелым режимом работы рассматриваемой электрической сети является аварийный режим, при котором из строя вышла одна из секций шин подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ. В данном случае электрическая сеть должна быть полностью запитана от одного фидерного выключателя; при данном режиме работы сети могут возникнуть значительные отклонения напряжения, потери мошности и электроэнергии в случае, если не обеспечить устройством регулирования напряжения под нагрузкой (РПН), установленным на стороне высокого напряжения силового трансформатора подстанции, достаточное для передачи мощности потребителям напряжение. Модель электрической сети при аварии на 2 секции шин 10 кВ представлена на рисунке 2.

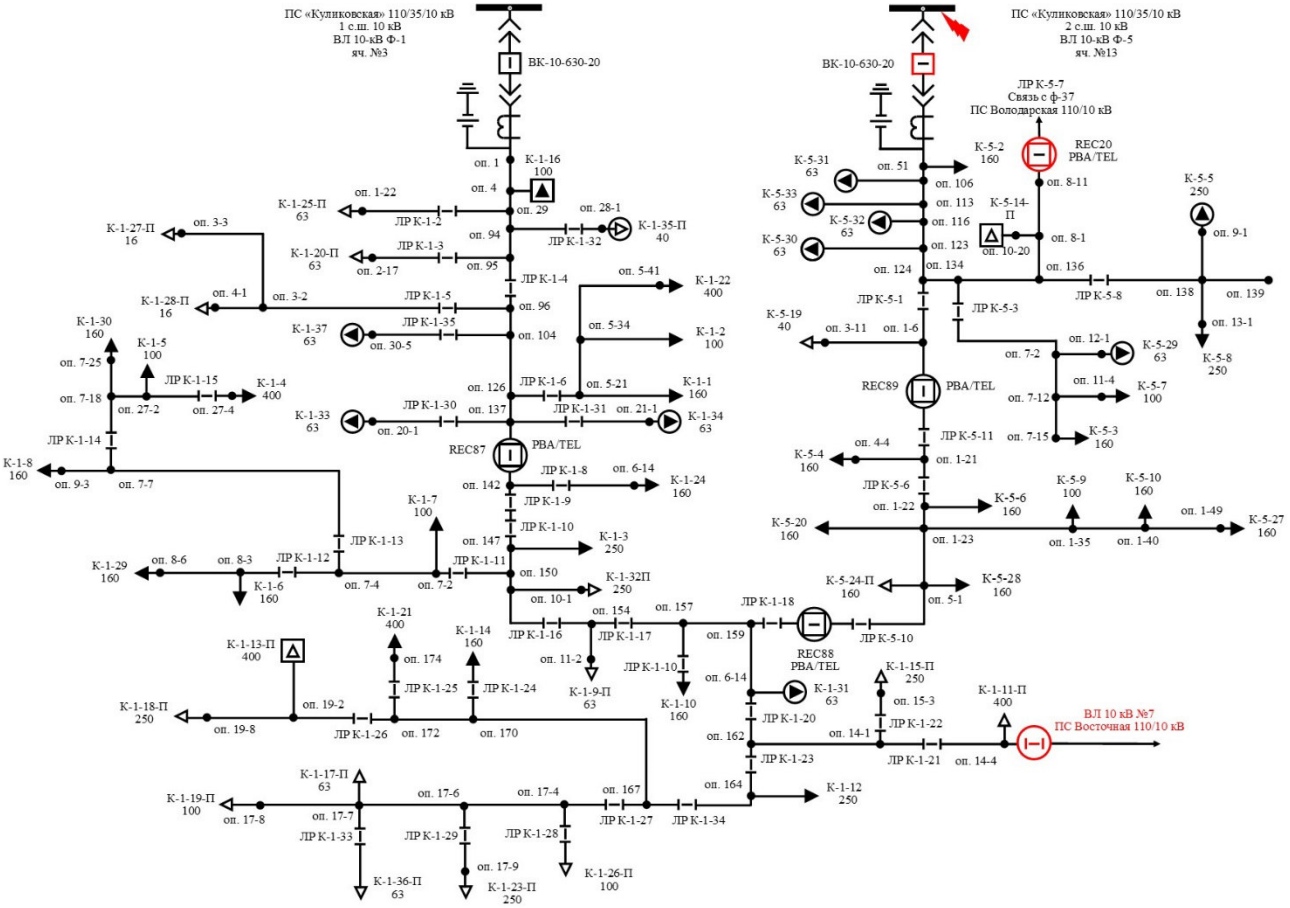


Рисунок 2 – Модель кольцевой электрической сети 10 кВ с реклоузерами, запитанной от шин низкого напряжения подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ, при выходе из строя 2 секции шин низкого напряжения подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ

Таким образом, расчет режимов работы рассматриваемой электрической сети 10 кВ позволит выявить эффективность внедрения реклоузеров и определить фактические отклонения напряжения на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ, тем самым выявить допустимые аварийные ситуации, когда при изменении конфигурации электрической сети 10 кВ реклоузерами потребители будут обеспечены качественной электроэнергией. Падение напряжения на участках электрической сети определим по формуле (1) [13]:

$$\Delta U = \frac{PR+QX}{U}, \text{ (В)} \qquad (1)$$

где P – активная мощность, протекающая по участку электрической сети, кВт;

Q – реактивная мощность, протекающая по участку электрической сети, квар;

R – активное сопротивление участка электрической сети, Ом;

X – реактивное сопротивление участка электрической сети, Ом.

Активное и реактивное сопротивления участков электрической сети определяются по формулам (2-3) [13]:

$$R = R_0 \cdot L, \text{ (Ом)} \quad (2)$$

$$X = X_0 \cdot L, \text{ (Ом)} \quad (3)$$

где R_0 – удельное активное сопротивление провода воздушной линии, Ом/км;

X_0 – удельное индуктивное сопротивление провода воздушной линии, Ом/км;

L – протяженность воздушной линии, км.

Следует отметить, что в настоящее время на подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ реализуются мероприятия по оптимизации режимов работы электрических сетей и совершенствованию эксплуатации подстанции. Все присоединения подстанции запитываются только от одного силового трансформатора с целью уменьшения потерь холостого хода в режимах малых нагрузок, при этом второй силовой трансформатор находится в автоматическом резерве, а также используется при сезонном увеличении нагрузок. Таким образом, расчет потерь напряжения на участках питающих линий 110 кВ и в обмотках силовых трансформаторов следует производить при передаче полной мощности по каждой из питающих цепей.

Определим потери напряжения в ВЛ 110 кВ «Орловская ТЭЦ - Орловская Районная №3» протяженностью 11,8 км до отпайки на подстанцию «Куликовская» 110/35/10 кВ, выполненной проводом АС-185/29, индуктивное сопротивление которого составляет 0,413 Ом/км, а активное – 0,162 Ом/км [14].

Рассчитаем сопротивления участка ВЛ 110 кВ «Орловская ТЭЦ - Орловская Районная №3»:

$$R = 0{,}162 \cdot 11{,}8 = 1{,}9116 \text{ (Ом)}$$

$$X = 0{,}413 \cdot 11{,}8 = 4{,}8734 \text{ (Ом)}$$

Определим потери напряжения на участке ВЛ 110 кВ «Орловская ТЭЦ - Орловская Районная №3» до отпайки на подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ в случае, если подстанция запитана по первой линии:

$$\Delta U'_{ВЛ-110\ кВ\ №1} = \frac{17500 \cdot 1{,}9116 + 3200 \cdot 4{,}8734}{115} = 426{,}503 \text{ (В)}$$

С учетом падения напряжения в ВЛ 110 кВ «Орловская ТЭЦ - Орловская Районная №3» определим напряжение на входе отпайки к подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ по формуле (4) [13]:

$$U_{ВЛ-110\ кВ\ №1} = U_{ПС\ Орл.Районная} - \Delta U'_{ВЛ-110\ кВ\ №1} = \\ = 115000 - 426{,}503 = 114573{,}497 \text{ (В)} \quad (4)$$

Потери напряжения на отпайке от ВЛ 110 кВ «Орловская ТЭЦ - Орловская Районная №3» протяженностью 5,3 км, питающей подстанцию «Куликовская» 110/35/10 кВ, с учетом определенных по формулам (2-3) сопротивлений участка составляют:

$$\Delta U''_{ВЛ-110\ кВ\ №1} = \frac{4956 \cdot 0{,}8586 + 1601 \cdot 2{,}1889}{114{,}573497} = 67{,}726 \text{ (В)}$$

Таким образом, фактическое напряжение на ОРУ 110 кВ подстанции «Куликовская» в случае, если она запитана по ВЛ 110 кВ «Орловская ТЭЦ - Орловская Районная №3»:

$$U_{ОРУ\ 110\ кВ-ВЛ-110\ кВ\ №1} = U_{ПС\ Орл.Районная} - \Delta U'_{ВЛ-110\ кВ\ №1} - \Delta U''_{ВЛ-110\ кВ\ №1} = \\ = 114505{,}771 \text{ (В)}$$

Для того, чтобы определить падение напряжения на одном из трансформаторов ТДТН-10000, установленных на подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ [15], требуется рассчитать сопротивления обмоток, при этом следует учитывать, что установленное на трансформаторе устройство РПН ±9*1,78 в зависимости от ситуаций в кольцевой электрической сети 10 кВ будет находиться в разных положениях. Например, в нормальном режиме работы кольцевой электрической сети 10 кВ, когда оба фидера запитаны с разных секций шин и являются радиальными, как это представлено на рисунке 1; а также в ситуациях при авариях между REC87 и REC88, а также REC88 и REC89 – РПН должно находиться в нормальном положении, при этом напряжение на секциях шин низкого напряжения подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ будет составлять 10500 В. При этом в наиболее тяжелых аварийных режимах в кольцевой электрической сети 10 кВ для обеспечения наибольшего допустимого напряжения 11 кВ на шинах низкого напряжения подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ, согласно ГОСТ 29322-2014 «Напряжения стандартные», устройство РПН должно находиться в крайнем «плюсовом» положении, что в свою очередь приведет к изменению напряжений короткого замыкания (КЗ) между обмотками силового трансформатора, которые будут отличаться от указанных в техническом паспорте силового трансформатора ТДТН-10000 значений [16]. Напряжение короткого замыкания для обмоток трансформатора ТДТН-10000, когда РПН находится в крайнем «плюсовому» ответвлении, определяем из источника [17].

В связи с тем, что для трансформаторов мощностью более 630 кВА можно пренебречь по причине большого сечения обмоток, рассчитанного на протекание больших токов, т.е. $r_т$=0, то при расчете будем исходить из соотношения (5) [18]:

$$u_{k\%} = x_{m\%} \tag{5}$$

Определяем индуктивные сопротивления в процентах для каждой обмотки, когда РПН находится в крайнем плюсовом положении по формулам (6-8) [18]:

$$x_{mBH}\% = 0{,}5(u_{кBH-HH}\% + u_{кBH-CH}\% - u_{кCH-HH}\%) = \\ = 0{,}5(18{,}41 + 11{,}25 - 6{,}5) = 11{,}58\% \tag{6}$$

$$x_{mCH}\% = 0{,}5(u_{кBH-CH}\% + u_{кCH-HH}\% - u_{кBH-HH}\%) = \\ = 0{,}5(11{,}25 + 6{,}5 - 18{,}41) => 0\% \tag{7}$$

$$x_{mHH}\% = 0{,}5(u_{кBH-HH}\% + u_{кCH-HH}\% - u_{кBH-HH}\%) = \\ = 0{,}5(18{,}41 + 6{,}5 - 11{,}25) = 6{,}83\% \tag{8}$$

Аналогично определяем индуктивные сопротивления обмоток трансформатора ТДТН-10000 в процентах, когда РПН находится в обыкновенном положении по формулам (6-8):

$$x_{mBH}\% = 0{,}5(u_{кBH-HH}\% + u_{кBH-CH}\% - u_{кCH-HH}\%) = 0{,}5(10{,}5 + 17{,}5 - 6{,}5) = 10{,}75\%,$$

$$x_{mCH}\% = 0{,}5(u_{кBH-CH}\% + u_{кCH-HH}\% - u_{кBH-HH}\%) = 0{,}5(10{,}5 + 6{,}5 - 17{,}5) => 0\%,$$

$$x_{mHH}\% = 0{,}5(u_{кBH-HH}\% + u_{кCH-HH}\% - u_{кBH-HH}\%) = 0{,}5(17{,}5 + 6{,}5 - 10{,}5) = 6{,}75\%.$$

Значения сопротивлений обмоток для трехобмоточного силового трансформатора (СТ) рассчитаем по формуле (9), с учетом того, что индуктивное сопротивление трансформатора принимаем равным полному сопротивлению [18]:

$$Z_{обмотки\ СТ} = \frac{x_{m\%}}{100} \cdot \frac{U_{ср}^2}{S_{ном}}, \tag{9}$$

где $S_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА;

$x_{т\%}$ - относительное сопротивление обмотки трансформатора, определяемое через напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$U_{ср}$ – среднее напряжение в месте установки данного элемента, кВ. При крайнем «плюсовом» положении РПН трансформатора ТДТН-10000 принимаем равным 126 кВ, при обыкновенном положении РПН при расчете будем использовать значение 115 кВ [18].

Определим значение сопротивлений, когда РПН находится в крайнем плюсовом положении:

$$Z_{обмотки\ ВН\ СТ} = \frac{11{,}58}{100} \cdot \frac{126^2}{10} = 183{,}84\ (Ом)$$

$$Z_{обмотки\ СН\ СТ} = \frac{0}{100} \cdot \frac{126^2}{10} \approx 0\ (Ом)$$

$$Z_{обмотки\ НН\ СТ} = \frac{6{,}83}{100} \cdot \frac{126^2}{10} = 108{,}433\ (Ом)$$

Аналогично, когда РПН находится в обыкновенном положении:

$$Z_{обмотки\ ВН\ СТ} = \frac{10{,}75}{100} \cdot \frac{115^2}{10} = 142{,}17\ (Ом)$$

$$Z_{обмотки\ СН\ СТ} = \frac{0}{100} \cdot \frac{115^2}{10} \approx 0\ (Ом)$$

$$Z_{обмотки\ НН\ СТ} = \frac{6{,}75}{100} \cdot \frac{115^2}{10} = 89{,}269\ (Ом)$$

Результаты расчетов индуктивных сопротивлений обмоток в процентах и значений сопротивлений обмоток трансформатора ТДТН-10000 при разных положениях устройства РПН представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов индуктивных сопротивлений обмоток в процентах и значений сопротивлений обмоток трансформатора ТДТН-10000 при разных положениях устройства РПН

Положение РПН	хтВН, %	хтСН, %	хтНН, %	Zоб.ВН СТ, Ом	Zоб.СН СТ, Ом	Zоб.НН СТ, Ом
Крайнее «плюсовое»	11,58	0	6,83	183,84	0	108,433
Нормальное	10,75		6,75	142,17	0	89,269

Рассчитаем потери напряжения на обмотке ВН силового трансформатора ТДТН-10000, когда подстанция «Куликовская» запитана по ВЛ 110 кВ «Орловская ТЭЦ - Орловская Районная №3» и РПН находится в крайнем «плюсовом» положении, при этом формула (1) примет вид (10) в связи с тем, что активной составляющей сопротивления силового трансформатора пренебрегаем:

$$\Delta U_{ВН.СТ-110\ кВ\ №1} = \frac{S}{U} Z_{обмотки\ ВН\ СТ} = \frac{5171}{114{,}505771} \cdot 183{,}84 = 8302\ (В) \qquad (10)$$

В ситуации, когда РПН находится в нормальном положении, сопротивление обмотки также определим по формуле (10):

$$\Delta U_{ВН.СТ-110\ кВ\ №1} = \frac{S}{U} Z_{обмотки\ ВН\ СТ} = \frac{5171}{114{,}505771} \cdot 142{,}17 = 6420\ (В)$$

Определим напряжение в начале обмотки НН силового трансформатора, когда РПН находится в крайнем «плюсовом» положении:

$$U_{НН.СТ-ВЛ-110\ кВ\ №1} = U_{ОРУ\ 110\ кВ-ВЛ-110\ кВ\ №1} - \Delta U_{ВН.СТ-110\ кВ\ №1} = 106203{,}771\ (В)$$

Когда РПН находится в нормальном положении:

$$U_{НН.СТ-ВЛ-110\ кВ\ №1} = U_{ОРУ\ 110\ кВ-ВЛ-110\ кВ\ №1} - \Delta U_{ВН.СТ-110\ кВ\ №1} = 108082{,}771\ (В)$$

Аналогично формуле (10), определим потери напряжения в обмотке НН трансформатора, когда РПН находится в крайнем «плюсовом положении»:

$$\Delta U_{НН.СТ-ВЛ-110\ кВ\ №1} = \frac{3548}{106{,}203771} \cdot 108{,}433 = 3623\ (В)$$

Когда РПН находится в нормальном положении:

$$\Delta U_{НН.СТ-ВЛ-110\ кВ\ №1} = \frac{3548}{106{,}203771} \cdot 89{,}269 = 2982\ (В)$$

Таким образом, напряжение в конце обмотки НН трансформатора ТДТН-1000, когда подстанция «Куликовская» запитана по ВЛ 110 кВ «Орловская ТЭЦ – Орловская Районная №3» при максимальном «плюсовом» положении РПН составляет:

$$U'_{НН.СТ-ВЛ-110\ кВ\ №1} = U_{НН.СТ-ВЛ-110\ кВ\ №1} - \Delta U_{НН.СТ-ВЛ-110\ кВ\ №1} = \\ = 106203{,}771 - 3623 = 102580{,}771\ (В)$$

Когда РПН находится в нормальном положении:

$$U'_{НН.СТ-ВЛ-110\ кВ\ №1} = U_{НН.СТ-ВЛ-110\ кВ\ №1} - \Delta U_{НН.СТ-ВЛ-110\ кВ\ №1} = \\ = 108082{,}771 - 2982 = 105100{,}771\ (В)$$

В случае, если подстанция «Куликовская» 110/35/10 кВ запитана по ВЛ 110 кВ «Мценск - Орловская Районная I цепь с отпайками» расчет падений напряжения производится также, при этом напряжение в конце обмотки НН второго силового трансформатора подстанции при крайнем «плюсовом» положении устройства РПН составляет 102806,742 В, а при нормальном положении устройства РПН - 103445,742 В.

При запитывании подстанции по разным линиям при приведенных в формулах (6-8) напряжениях КЗ между обмотками силового трансформатора устройством РПН на шинах низкого напряжения подстанции обеспечивается напряжение 11 кВ в наиболее тяжелых аварийных режимах, а также при необходимости осуществляется регулировка РПН в зависимости от ситуации в электрической сети 10 кВ.

Расчет потерь напряжения в кольцевой электрической сети 10 кВ также производится по формулам (1-4), значения удельных сопротивлений сталеалюминиевых проводов и кабелей определены по данным источника [13], а значения сопротивлений самонесущих изолированных проводов (СИП) в соответствие с ГОСТ 31946-2012 «Провода самонесущие изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи». Так, при нормальном режиме работы рассматриваемой кольцевой электрической сети 10 кВ потери напряжения на участке фидера №5 протяженностью 3,145 км между опорами №1-№51 с учетом того, что данный участок выполнен проводом марки СИП-3 3х70, удельное активное сопротивление которого 0,493 Ом/км, а индуктивное – 0,291 Ом/км, составят:

$$\Delta U_{1-51} = \frac{P_{1-51}R_{1-51} + Q_{1-51}X_{1-51}}{U_{1-51}} = \frac{872{,}64 \cdot 1{,}551 + 254{,}52 \cdot 0{,}915}{11} = 144{,}214\ (В)$$

Напряжение на трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ К-5-2 и на входе участка между опорами №51-№106 составляет:

$$U_{51-106} = U_{1-51} - \Delta U_{1-51} = 10855{,}786\ (В)$$

Отклонение напряжения на ТП 10/0,4 кВ К-5-2 от номинального значения в процентах определим по формуле (11) [13]:

$$\Delta U_{ном}\% = \frac{U_{факт} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% \approx 8{,}558\ \% \qquad (11)$$

Расчет фактических напряжений и отклонение их от номинального значения в процентах на других трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ для данного режима и других возможных ситуациях в электрической сети 10 кВ производится также, при этом дополнительно могут быть определены потери активной, реактивной и полной мощностей по формулам (12-14), которые для данного участка составляют [13]:

$$\Delta P_{1-51} = \frac{P_{1-51}^2 + Q_{1-51}^2}{U_{1-51}} R_{1-51} = 10591{,}42\ (Вт) \qquad (12)$$

$$\Delta Q_{1-51} = \frac{P_{1-51}^2 + Q_{1-51}^2}{U_{1-51}} X_{1-51} = 6248{,}323 \text{ (вар)} \quad (13)$$

$$\Delta S_{1-51} = \sqrt{P_{1-51}^2 + Q_{1-51}^2} = 12297{,}14 \text{ (ВА)} \quad (14)$$

Рассчитанные значения фактических напряжений и соответствие отклонений данных напряжений от номинального по допустимым требованиям ±10%, согласно ГОСТ 32144-2013, на вводах ВН трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ при нормальном режиме работы кольцевой электрической сети 10 кВ и нормальном положении устройства РПН представлены в таблице 3, а в самом тяжелом аварийном режиме, когда из строя вышла 2 секция шин подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ и крайнем «плюсовом» положении устройства РПН – в таблице 4. Модели данных режимов представлены, соответственно на рисунках 1-2.

Таблица 3 – Значения напряжений на вводах ТП 10/0,4 кВ рассматриваемой кольцевой электрической сети 10 кВ при нормальном режиме работы и соответствие отклонений напряжения допустимым требованиям ГОСТ 32144-2013

Фидер №1								
Номер ТП 10/0,4 кВ	Напряжение, В	±10 %	Номер ТП 10/0,4 кВ	Напряжение, В	±10 %	Номер ТП 10/0,4 кВ	Напряжение, В	±10 %
К-1-16	10487,202	+	К-1-24	9917,82	+	К-1-15-П	9844,977	+
К-1-25-П	10384,269	+	К-1-3	9891,903	+	К-1-11-П	9845,649	+
К-1-35-П	10121,108	+	К-1-7	9873,61	+	К-1-12	9840,955	+
К-1-20-П	10116,43	+	К-1-6	9868,513	+	К-1-14	9833,485	+
К-1-28-П	10108,546	+	К-1-29	9867,476	+	К-1-21	9831,187	+
К-1-27-П	10108,352	+	К-1-8	9865,402	+	К-1-13-П	9831,702	+
К-1-37	10073,36	+	К-1-30	9854,906	+	К-1-18-П	9831,206	+
			К-1-5	9855,039	+			
К-1-1	9978,87	+	К-1-4	9853,627	+	К-1-26-П	9836,529	+
К-1-2	9976,637	+	К-1-32-П	9877,343	+	К-1-23-П	9835,711	+
К-1-22	9975,834	+	К-1-9-П	9869,321	+	К-1-17-П	9835,645	+
К-1-33	9942,123	+	К-1-10	9861,239	+	К-1-36-П	9835,645	+
К-1-34	9942,141	+	К-1-31	9850,972	+	К-1-19-П	9835,552	+
Фидер №5								
К-5-2	10348,919	+	К-5-31	10196,037	+	К-5-33	10176,24	+
К-5-32	10168,72	+	К-5-30	10150,393	+	К-5-29	10135,696	+
К-5-3	10130,781	+	К-5-7	10130,785	+	К-5-5	10133,782	+
К-5-8	10133,735	+	К-5-14-П	10134,333	+	К-5-19	10139,749	+
К-5-4	10123,963	+	К-5-6	10122,712	+	К-5-20	10119,268	+
К-5-28	10118,957	+	К-5-9	10113,787	+	К-5-27	10112,078	+
К-5-24-П		+	К-5-10	10112,892	+			

На основании полученных расчетных путем значений напряжения на ТП 10/0,4 кВ, представленных в таблицах 3-4, а также при других режимах работы кольцевой электрической сети 10 кВ были определены трансформаторные подстанции, на которых отклонение напряжения от номинального значения является наибольшим при данном режиме работы сети. В свою очередь, данные трансформаторные подстанции были взяты за контрольные точки при построении топологических графиков отклонений напряжения, представленных на рисунках 3 и 4, демонстрирующих отклонения напряжения на ТП 10/0,4 кВ при запитывании кольцевой электрической сети 10 кВ от фидера №1 и от фидера №5.

Таблица 4 – Значения напряжений на вводах ТП 10/0,4 кВ рассматриваемой кольцевой электрической сети 10 кВ при аварии на второй секции шин подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ и соответствие отклонений напряжения допустимым требованиям ГОСТ 32144-2013

Фидер №1								
Номер ТП 10/0,4 кВ	Напряжение, В	±10 %	Номер ТП 10/0,4 кВ	Напряжение, В	±10 %	Номер ТП 10/0,4 кВ	Напряжение, В	±10 %
К-1-16	10978,715	+	К-1-24	9976,699	+	К-1-15-П	9812,365	+
К-1-25-П	10804,761	+	К-1-3	9922,375	+	К-1-11-П	9812,355	+
К-1-35-П	10351,417	+	К-1-7	9892,417	+	К-1-12	9808,638	+
К-1-20-П	10344,77	+	К-1-6	9887,492	+	К-1-14	9801,154	+
К-1-28-П	10329,77	+	К-1-29	9886,494	+	К-1-21	9798,838	+
К-1-27-П	10329,705	+	К-1-8	9884,475	+	К-1-13-П	9799,356	+
К-1-37	10267,915	+	К-1-30	9873,128	+	К-1-18-П	9798,858	+
			К-1-5	9873,246	+			
К-1-1	10095,159	+	К-1-4	9871,861	+	К-1-26-П	9804,007	+
К-1-2	10092,952	+	К-1-32-П	9891,016	+	К-1-23-П	9803,217	+
К-1-22	10092,158	+	К-1-9-П	9865,832	+	К-1-17-П	9803,153	+
К-1-33	10020,048	+	К-1-10	9840,707	+	К-1-36-П	9803,153	+
К-1-34	10020,066	+	К-1-31	9818,27	+	К-1-19-П	9803,062	+
Фидер №5								
К-5-2	9751,834	+	К-5-31	9768,507	+	К-5-33	9770,564	+
К-5-32	9772,47	+	К-5-30	9776,109	+	К-5-29	9764,008	+
К-5-3	9758,988	+	К-5-7	9758,992	+	К-5-5	9762,102	+
К-5-8	9762,054	+	К-5-14-П	9762,649	+	К-5-19	9781,979	+
К-5-4	9801,774	+	К-5-6	9806,506	+	К-5-20	9814,58	+
К-5-28	9819,844	+	К-5-9	9808,929	+	К-5-27	9807,167	+

Также на графиках отклонений напряжения представлены и другие контрольные точки, являющиеся сетевыми коммутационными аппаратами (реклоузерами) и непосредственно подключенными к магистральным участкам линий электропередачи ТП 10/0,4 кВ. При этом на построенных графиках представлены также отклонения напряжения от номинальных значений на шинах среднего напряжения 110 кВ подстанции «Орловская Районная» 220/110/10 кВ и открытом распределительном устройстве (ОРУ) 110 кВ «Куликовская» 110/35/10 кВ, а также на обмотках высокого и низкого напряжения одного из силовых трансформаторов ТДТН-10000, установленных на подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ, в случаях, когда подстанция запитана по ВЛ 110 кВ «Орловская ТЭЦ - Орловская Районная №3» и ВЛ 110 кВ «Мценск - Орловская Районная I цепь с отпайками».

При анализе графиков отклонения напряжения, представленных на рисунках 3 и 4, можно сделать вывод, что во всех режимах работы рассматриваемой кольцевой электрической сети 10 кВ обеспечивается допустимое отклонение напряжения, не превышающее установленных источником ГОСТ 32144-2013 напряжения ±10%; при этом наиболее тяжелым из аварийных режимов работы сети, как ранее было отмечено, является выход из строя 2 секции шин подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ, при котором отрицательное отклонение напряжение на наиболее удаленной ТП 10/0,4 кВ К-5-2 составляет -2,482%, а именно: 9751,834 В.

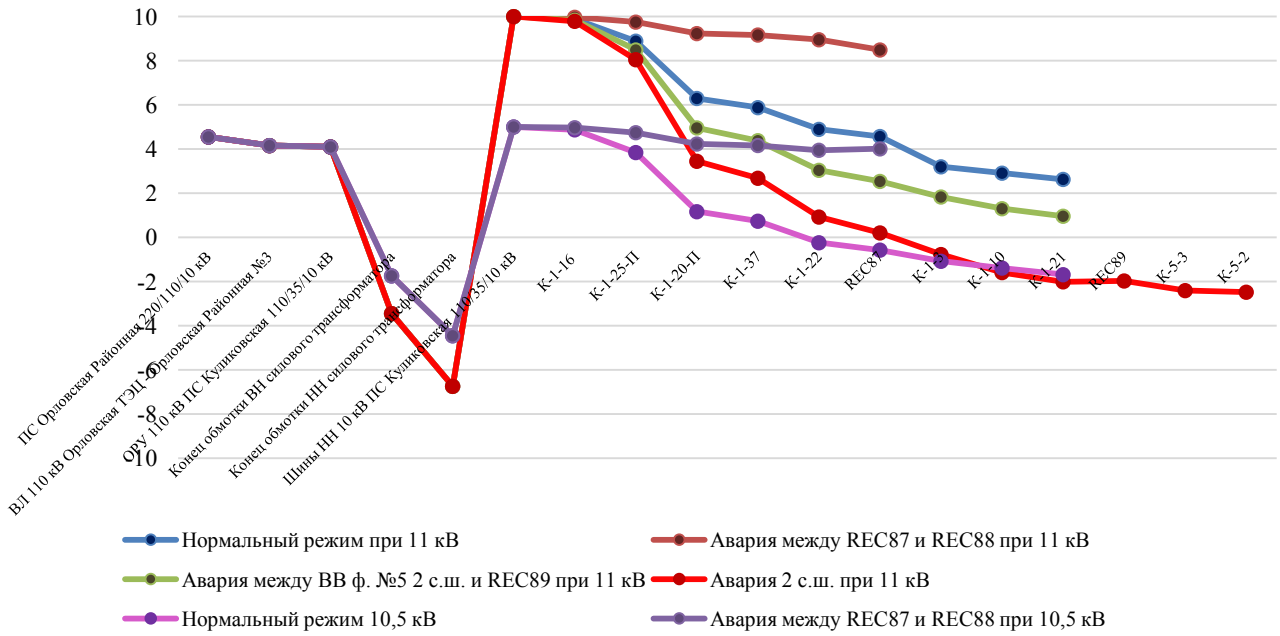


Рисунок 3 – Отклонения напряжения на ТП 10/0,4 кВ, присоединениях подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ и подстанции «Орловская Районная» 220/110/10 кВ от номинальных значений по топологии энергосистемы и кольцевой электрической сети 10 кВ с реклоузерами при различных режимах работы и питании от фидера №1

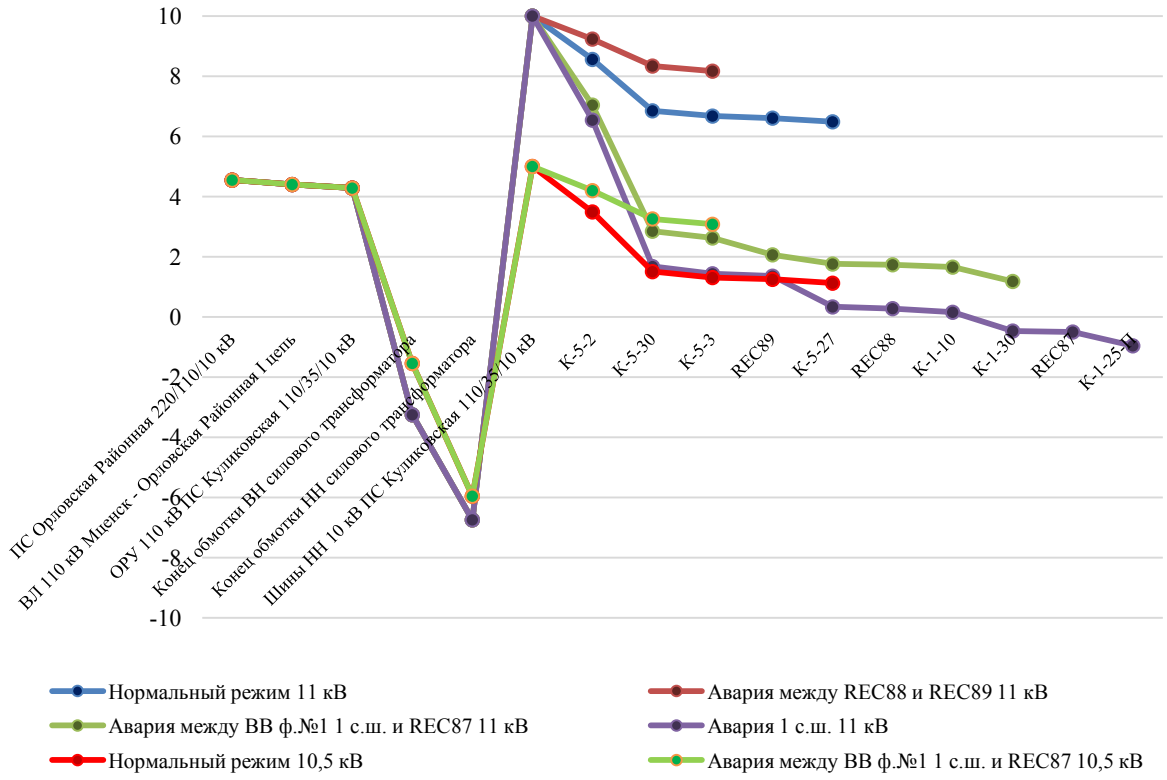


Рисунок 4 – Отклонения напряжения на ТП 10/0,4 кВ, присоединениях подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ и подстанции «Орловская Районная» 220/110/10 кВ от номинальных значений по топологии энергосистемы и кольцевой электрической сети 10 кВ с реклоузерами при различных режимах работы и питании от фидера №5

Рассматривая аналогичный режим, при выходе из строя первой секции шин подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ отрицательное отклонение напряжения в наиболее удаленной точке К-1-25-П составляет -0,961%, т.е. 9903,913. В остальных режимах отклонения напряжения не имеют отрицательных значений.

При расчете режимов работы кольцевой электрической сети 10 кВ были определены параметры сети в месте установки коммутационных аппаратов: реклоузеров и выключателей фидерных ячеек ВК-10-630-20. Ток, протекающий через выключатели реклоузеры определялся по формуле (15) [13]:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (15)$$

где S – полная мощность, протекающая через коммутационный аппарат, кВА;

U – напряжение в месте установка коммутационного аппарата, кВ.

Полученные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры электрической сети 10 кВ в месте установке коммутационных аппаратов

Нормальный режим работы электрической сети при напряжении на шинах НН ПС«Куликовская» 11 кВ					
Параметры электрической сети	Коммутационные аппараты				
	REC87	REC88	REC89	Выключатель фидера №1	Выключатель фидера №5
I, А	50,219	0	24,578	66,763	47,71
S, кВА	956,8	0	425,7	1272	909
P, кВт	918,528	0	408,672	1221,12	872,64
Q, квар	267,904	0	119,196	356,16	254,52
U, В	10457,092	10288,314	10660,695	11000	11000
Авария между реклоузерами REC87 и REC88 при напряжении на шинах НН ПС «Куликовская» 11 кВ					
Параметры электрической сети	Коммутационные аппараты				
	REC87	REC88	REC89	Выключатель фидера №1	Выключатель фидера №5
I, А	0	0	24,578	16,544	47,71
S, кВА	0	0	425,7	315,2	909
P, кВт	0	0	408,672	302,592	872,64
Q, квар	0	0	119,196	88,256	254,52
U, В	10901,29	10288,314	10660,695	11000	11000
Авария между реклоузерами REC88 и REC89 при напряжении на шинах НН ПС «Куликовская» 11 кВ					
Параметры электрической сети	Коммутационные аппараты				
	REC87	REC88	REC89	Выключатель фидера №1	Выключатель фидера №5
I, А	50,219	0	0	66,763	25,367
S, кВА	956,8	0	0	1272	483,3
P, кВт	918,528	0	0	1221,12	463,968
Q, квар	267,904	0	0	356,16	135,324
U, В	10457,092	10288,314	10832,306	11000	11000
Авария между выключателем фидера №5 и REC89 при напряжении на шинах НН ПС «Куликовская» 11 кВ					
Параметры электрической сети	Коммутационные аппараты				
	REC87	REC88	REC89	Выключатель фидера №1	Выключатель фидера №5
I, А	79,819	24,287	0	89,106	0
S, кВА	1382,5	425,7	0	1697,7	0
P, кВт	1327,2	408,672	0	1629,792	0
Q, квар	387,1	119,196	0	475,356	0
U, В	10253,629	10119,844	10108,213	11000	0

Авария между выключателем фидера №1 и REC87 при напряжении на шинах НН ПС«Куликовская» 11 кВ					
Параметры электрической сети	Коммутационные аппараты				
	REC87	REC88	REC89	Выключатель фидера №1	Выключатель фидера №5
I, А	0	54,3	78,206	0	97,929
S, кВА	0	956,8	1382,5	0	1865,8
P, кВт	0	918,528	1327,2	0	1791,168
Q, квар	0	267,904	387,1	0	522,424
U, В	10176,61	10173,253	10206,245	0	11000
Авария на второй секции шин подстанции 110/35/10 кВ «Куликовская» при напряжении на шинах НН 11 кВ					
Параметры электрической сети	Коммутационные аппараты				
	REC87	REC88	REC89	Выключатель фидера №1	Выключатель фидера №5
I, А	107,504	53,424	28,465	114,473	0
S, кВА	1865,8	909	483,3	2181	0
P, кВт	1791,168	872,64	463,968	2093,76	0
Q, квар	522,424	254,52	135,324	610,68	0
U, В	10020,295	9823,494	9802,681	11000	0
Авария на первой секции шин подстанции 110/35/10 кВ «Куликовская» при напряжении на шинах НН 11 кВ					
Параметры электрической сети	Коммутационные аппараты				
	REC87	REC88	REC89	Выключатель фидера №1	Выключатель фидера №5
I, А	18,29	73,238	96,707	0	114,473
S, кВА	315,2	1272	1697,7	0	2181
P, кВт	302,592	1221,12	1629,792	0	2093,76
Q, квар	88,256	356,16	475,356	0	610,68
U, В	9949,833	10027,479	10135,41	0	11000
Нормальный режим работы электрической сети при напряжении на шинах НН ПС«Куликовская» 10,5 кВ					
Параметры электрической сети	Коммутационные аппараты				
	REC87	REC88	REC89	Выключатель фидера №1	Выключатель фидера №5
I, А	55,561	0	24,275	69,942	49,982
S, кВА	956,8	0	425,7	1272	909
P, кВт	918,528	0	408,672	1221,12	872,64
Q, квар	267,904	0	119,196	356,16	254,52
U, В	9942,372	9861,562	10124,842	10500	10500
Авария между реклоузерами REC87 и REC88 при напряжении на шинах НН ПС «Куликовская» 10,5 кВ					
Параметры электрической сети	Коммутационные аппараты				
	REC87	REC88	REC89	Выключатель фидера №1	Выключатель фидера №5
I, А	0	0	24,275	17,332	49,982
S, кВА	0	0	425,7	315,2	909
P, кВт	0	0	408,672	302,592	872,64
Q, квар	0	0	119,196	88,256	254,52
U, В	10400,993	10118,957	10124,842	10500	10500
Авария между реклоузерами REC88 и REC89 при напряжении на шинах НН ПС «Куликовская» 10,5 кВ					
Параметры электрической сети	Коммутационные аппараты				
	REC87	REC88	REC89	Выключатель фидера №1	Выключатель фидера №5
I, А	55,561	0	0	17,332	26,575
S, кВА	956,8	0	0	315,2	483,3
P, кВт	918,528	0	0	302,592	463,968
Q, квар	267,904	0	0	88,256	135,324
U, В	9942,372	9861,562	10324,185	10500	10500

Данные результаты позволят произвести правильную настройку функций защиты и автоматики кольцевой электрической сети 10 кВ, реализуемых реклоузерами и выключателями фидерных ячеек, обеспечить их согласование, селективность и

чувствительность, что позволит повысить надежность электроснабжения потребителей и сократить перерывы в электроснабжении.

Следует отметить, что на примере рассмотренной модели кольцевой сельской электрической сети 10 кВ в работе [19] был произведен расчет значений токов двухфазного и трехфазного КЗ в различных точках сети, который позволил осуществить настройку МТЗ и токовых отсечек головных выключателей, отходящих от ПС линий, и установленных в сети реклоузеров с учётом направления тока, протекающего через реклоузеры. Также данные значения могут использоваться как один из информационных признаков, для бесканального дистанционного контроля результатов работы реклоузеров, других режимов работы рассмотренной электрической сети.

В свою очередь, в работе [20] также на примере рассмотренной в данной работе модели сельской кольцевой электрической сети 10 кВ была разработана методика расчёта режима трёхфазного короткого замыкания в электрической сети 10 кВ, которая учитывает место возникновения замыкания и влияние значения тока нагрузки на полный ток в сети в рассматриваемом режиме. Методика позволяет также рассчитать значение напряжения в разных точках сети при коротком замыкании в ней. Было выявлено, что при замыканиях в удалённых от источника питания (шины подстанции) точках ток нагрузки составляет от 6,846 до 35,83% полного тока КЗ. При этом фазное напряжение в линии изменяется от 0 В в точке короткого замыкания до 5711 В на шинах подстанции.

Выводы

Оснащение электрических сетей средствами контроля их конфигурации позволяет повысить надежность электроснабжения потребителей. В этом случае необходимо сначала выполнить проверки на соответствие ограничениям, связанным с возможностью управления конфигурацией. Одним из ограничений является ограничение на обеспечение нормализованного уровня напряжения на входах потребителя. Это ограничение требует выполнения условия, при котором при изменении конфигурации сети отклонение напряжения в контрольных точках сети, а именно в точках передачи электроэнергии потребителям, не должно выходить за пределы, установленные нормативными документами. Проверка выполнения этого условия проиллюстрирована на примере подстанции 110/35/10 кВ «Куликовская», а высоковольтные вводы подстанции 10/0,4 кВ рассматриваются как точки передачи электроэнергии потребителям. Проведенные расчеты показали, что во всех вариантах конфигурации сети, во всех рассмотренных режимах уровень напряжения в контрольных точках соответствует нормам. Таким образом, в рассматриваемой сети можно управлять конфигурацией с целью обеспечения высокого уровня надежности электроснабжения потребителей. Расчеты параметров режимов работы сети позволили получить значения тока в точках установки коммутационных аппаратов, мощности, передаваемой в этих точках, позволили реализовать некоторые методы дистанционного мониторинга работы коммутационных аппаратов, а также обеспечить реализацию принцип наблюдаемости электрической сети.

Список использованных источников:

1) Виноградов А.В. Повышение эффективности защиты линий электропередачи 0,4 кВ с отпайками от однофазных коротких замыканий за счёт применения мультиконтактной коммутационной системы МКС-2-3В / Виноградов А.В., Виноградова А.В., Псарёв А.И., Лансберг А.А., Большев В.Е. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. №3(59). С. 58-63.

2) A. Moradi, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Rashidi-Nejad, A Roshidi Approach to Determine Optimum Switching Placement in Distribution Systems, In: Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Paci Fi C, 2005 Ieee / Pes. 2005. pp. 1-5.

3) C. Lin, C. Chen, H. Chuang, C. Li, M. Huang, C. Huang, Optimal Switching Placement for Customer Interruption Cost Minimization, In: Ieee Power Engineering Society General Meeting. 2006. pp. 1-6.

4) A. Moradi, M. Fotuhi-Firuzabad, Optimal switch placement in distribution systems trinary particle swarm optimization algorithm // IEEE Trans. Power Deliv. №23(1). 2008. pp. 271-279.

5) H. Falaghi, M. Haghifam, C. Singh. Ant Colony Optimization-Based Method for Placement of Sectionalizing Switches in Distribution Networks using A Fuzzy Multiobjective Approach // Ieee Trans. Power Deliv. №24(1). 2009. pp. 268-276.

6) A. ABIRI-Jahromi, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Parvania, M. Mosleh. Optimized Sectionalizing Switch Placement Strategy in Distribution Systems // Ieee Trans. Power Deliv. №27(1). 2012. pp. 362-370

7) Патент №97113082, Российская Федерация, МПК H02B 13/00. Реклоузер (автоматический выключатель воздушных линий) серии TEL / Чалый А.М., Червинский О.И. // Заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Таврида Электрик Р». – Заявка 97113082/09, заявлено 1997.07.18; опубл. 1999.06.20.

8) Switch and Recloser Placement in Distribution System Considering Uncerties in Loads, Failure Rates and Repair Rates / Afroz Alam, Vinay Pant, Biswarup Das // Electric Power Systems Research. №140. 2016. pp. 619-630.

9) Gracheva E.I., Naumov O.V., Gorlov A.N., Modelling Characteristics of Reliability Low-Voltage Switching Devices on the Basis of Random Checks on the Example of Contactors // Proceedings - 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019. 2019. pp. 641–643, art. no. 8947595, DOI: 10.1109/SUMMA48161.2019.8947595.

10) W. Tippachon, D. RerkPreedapong, Multiobjective Optimal Placement of Switches and Protective Devices in Electric Power Distribution Systems using Ant Colony Optimization, Electr. Power SYST. RES. №79(7). 2009. pp. 1171-1178.

11) A. Heidari, V. Agelidis, M. Kia, Considerations of Sectionalizing Switches in Distribution Networks with Distributed Generation // Ieee Trans. Power Deliv. №30(3). 2015. pp. 1401-1409.

12) A.V. Pombo, J. Murta-Pina, V.F. Pires. A MultiObjective Placement of Switching Devices In Distribution Networks Incorporating Distributed Energy Resources // Electr. Power Syst. Res. №130. 2016. pp. 34-45

13) Будзко И.А. и др. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: Колос, 2000. – 536 с.

14) Справочник по проектированию электрических сетей / Под редакцией Д. Л. Файбисовича. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС 2006 - 320 с. ил.

15) Лансберг А.А., Николенко С.Н. Обоснование необходимости реконструкции подстанции «Куликовская» 110/35/10 кВ, осуществляющей электроснабжение сельскохозяйственных потребителей / А.А. Лансберг, С.Н. Николенко // Научный журнал молодых ученых. 2020. №4(21). С. 66-77.

16) Тольяттинский трансформатор. Трансформаторы силовые масляные класса напряжения 110 кВ. Ресурс: [электронный]. URL: https://transformator.com.ru/ttproduction/transform/145/1641/ (дата обращения: 21.10.2020).

17) Небрат И.Л. Расчет токов короткого замыкания для релейной защиты. – Издательство Петербургского энергетического института, 2003. – 51 с.

18) Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – 10-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.

19) Виноградов А.В., Капитонов А.И., Лансберг А.А., Сорокин Н.С., Фомин И.Н. Определение токов коротких замыканий в сельской электрической сети 10 кВ, секционируемой реклоузерами для осуществления дистанционного контроля их срабатывания // Вестник аграрной науки Дона. 2021. № 1 (53). С. 34-43.

20) Волчков Ю.Д., Виноградов А.В., Лансберг А.А., Сорокин Н.С., Виноградова А.В., Фомин И.Н. Расчёт режима трёхфазного короткого замыкания в электрической сети 10 кВ с учётом влияния токов нагрузки // Агроинженерия. 2021. № 6 (106). С. 74-83.

Bibliography:

1) Vinogradov A.V. Povyshenie effektivnosti zashchity linij elektroperedachi 0,4 kV s otpajkami ot odnofaznyh korotkih zamykanij za schyot primeneniya multikontaktnoj kommutacionnoj sistemy MKS-2-3V / Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Psaryov A.I., Lansberg A.A., Bolshev V.E. // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. T. 15. №3(59). S. 58-63.

2) A. Moradi, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Rashidi-Nejad, A Roshidi Approach to Determine Optimum Switching Placement in Distribution Systems, In: Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Paci Fi C, 2005 Ieee / Pes. 2005. pp. 1-5.

3) C. Lin, C. Chen, H. Chuang, C. Li, M. Huang, C. Huang, Optimal Switching Placement for Customer Interruption Cost Minimization, In: Ieee Power Engineering Society General Meeting. 2006. pp. 1-6.

4) A. Moradi, M. Fotuhi-Firuzabad, Optimal switch placement in distribution systems trinary particle swarm optimization algorithm // IEEE Trans. Power Deliv. №23(1). 2008. pp. 271-279.

5) H. Falaghi, M. Haghifam, C. Singh. Ant Colony Optimization-Based Method for Placement of Sectionalizing Switches in Distribution Networks using A Fuzzy Multiobjective Approach // Ieee Trans. Power Deliv. №24(1). 2009. pp. 268-276.

6) A. ABIRI-Jahromi, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Parvania, M. Mosleh. Optimized Sectionalizing Switch Placement Strategy in Distribution Systems // Ieee Trans. Power Deliv. №27(1). 2012. pp. 362-370

7) Patent №97113082, Rossijskaya Federaciya, MPK H02B 13/00. Reklouzer (avtomaticheskij vyklyuchatel vozdushnyh linij) serii TEL / CHalyj A.M., CHervinskij O.I. // Zayavitel i patentoobladatel Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennostyu «Tavrida Elektrik R». – Zayavka 97113082/09, zayavleno 1997.07.18; opubl. 1999.06.20.

8) Switch and Recloser Placement in Distribution System Considering Uncerties in Loads, Failure Rates and Repair Rates / Afroz Alam, Vinay Pant, Biswarup Das // Electric Power Systems Research. №140. 2016. pp. 619-630.

9) Gracheva E.I., Naumov O.V., Gorlov A.N., Modelling Characteristics of Reliability Low-Voltage Switching Devices on the Basis of Random Checks on the Example of Contactors //

Proceedings - 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019. 2019. pp. 641–643, art. no. 8947595, DOI: 10.1109/SUMMA48161.2019.8947595.

10) W. Tippachon, D. RerkPreedapong, Multiobjective Optimal Placement of Switches and Protective Devices in Electric Power Distribution Systems using Ant Colony Optimization, Electr. Power SYST. RES. №79(7). 2009. pp. 1171-1178.

11) A. Heidari, V. Agelidis, M. Kia, Considerations of Sectionalizing Switches in Distribution Networks with Distributed Generation // Ieee Trans. Power Deliv. №30(3). 2015. pp. 1401-1409.

12) A.V. Pombo, J. Murta-Pina, V.F. Pires. A MultiObjective Placement of Switching Devices In Distribution Networks Incorporating Distributed Energy Resources // Electr. Power Syst. Res. №130. 2016. pp. 34-45

13) Budzko I.A. i dr. Elektrosnabzhenie selskogo hozyajstva. – M.: Kolos, 2000. – 536 s.

14) Spravochnik po proektirovaniyu elektricheskih setej / Pod redakciej D. L. Fajbisovicha. - M.: Izd-vo NC ENAS 2006 - 320 s. il.

15) Lansberg A.A., Nikolenko S.N. Obosnovanie neobhodimosti rekonstrukcii podstancii «Kulikovskaya» 110/35/10 kV, osushchestvlyayushchej elektrosnabzhenie selskohozyajstvennyh potrebitelej / A.A. Lansberg, S.N. Nikolenko // Nauchnyj zhurnal molodyh uchenyh. 2020. №4(21). S. 66-77.

16) Tolyattinskij transformator. Transformatory silovye maslyanye klassa napryazheniya 110 kV. Resurs: [elektronnyj]. URL: https://transformator.com.ru/ttproduction/transform/145/1641/ (data obrashcheniya: 21.10.2020).

17) Nebrat I.L. Raschet tokov korotkogo zamykaniya dlya relejnoj zashchity. – Izdatelstvo Peterburgskogo energeticheskogo instituta, 2003. – 51 s.

18) Rozhkova L.D. Elektrooborudovanie elektricheskih stancij i podstancij: uchebnik dlya stud. uchrezhdenij sred. prof. obrazovaniya / L.D. Rozhkova, L.K. Karneeva, T.V. CHirkova. – 10-e izd., ster. – M.: Izdatelskij centr «Akademiya», 2013. – 448 s.

19) Vinogradov A.V., Kapitonov A.I., Lansberg A.A., Sorokin N.S., Fomin I.N. Opredelenie tokov korotkih zamykanij v selskoj elektricheskoj seti 10 kV, sekcioniruemoj reklouzerami dlya osushchestvleniya distancionnogo kontrolya ih srabatyvaniya // Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2021. № 1 (53). S. 34-43.

20) Volchkov YU.D., Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Sorokin N.S., Vinogradova A.V., Fomin I.N. Raschyot rezhima tryohfaznogo korotkogo zamykaniya v elektricheskoj seti 10 kV s uchyotom vliyaniya tokov nagruzki // Agroinzheneriya. 2021. № 6 (106). S. 74-83.

Александр Александрович Лансберг, специалист лаборатории электроснабжения и теплообеспечения ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, lansbergaa@yk.com

Николай Сергеевич Сорокин, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение» Орловского ГАУ, sorokin-nc@yandex.ru

Игорь Николаевич Фомин, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение» Орловского ГАУ, igor.fom-in@yandex.ru

INVESTIGATION OF THE OPERATING PARAMETERS OF A RURAL ELECTRIC NETWORK WITH A VOLTAGE OF 10 kV TO ASSESS THE POSSIBILITIES OF FULFILLING RESTRICTIONS ON MONITORING ITS CONFIGURATION AND ENSURING ITS OBSERVABILITY

[1]Lansberg A.A., [2]Sorokin N.S., [2]Fomin I.N.

[1]Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM»
[2]Federal State Educational Institution of Higher Education «Orel State Agrarian University named by N.V. Parakhin»

Abstract. Currently, in order to increase the reliability of power supply of 6-10 kV distribution electric networks, reclosers are being introduced into them, implementing the functions of network partitioning and redundancy of power transmission lines, which, in the event of emergency modes of operation of the network, can significantly reduce the time and number of interruptions in the power supply of consumers. This paper presents a study of the operating modes of the 10 kV ring electric network powered by the 110/35/10 kV «Kulikovskaya» substation, located in the operational responsibility area of the branch of PJSC «Rosseti Center» – «Orelenergo», according to permissible voltage deviations during normal operation and emergency situations arising in network sections and in case of power supply failures. Based on the calculation of the parameters of the 10 kV electrical network under consideration, it has revealed that in various modes the voltage deviation from the nominal does not exceed the limits established by GOST 32144-2013, which makes it possible to demonstrate the effectiveness of the introduction of reclosers. The parameters of the operating modes of the 10 kV electric network obtained in the work can be used in the development of a device for channel-free remote monitoring and control of switches in outgoing power lines.

Keywords: recloser, electric grid, power quality, voltage drop, transformer substation, power transformer, full power, switching device, overhead line, rated current.

Alexander Aleksandrovich Lansberg, specialist of the laboratory of power supply and heat supply of the Federal State Budgetary Institution FNATS VIM, lansbergaa@vk.com
Nikolay Sergeevich Sorokin, senior lecturer at the Department of Electric Power Supply, Oryol State Agrarian University, sorokin-nc@yandex.ru
Igor Nikolaevich Fomin, senior lecturer at the Department of Electric Power Supply, Oryol State Agrarian University, igor.fom-in@yandex.ru

УДК 621.315.1(1-22):004.94:621.3.027.304

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ СЕЛЬСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4 кВ В MATLAB SIMULINK

Лансберг А.А.

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Аннотация. *В настоящее время компьютерное моделирование является одним из наиболее эффективных инструментов исследования режимов работы электрических сетей. В настоящей работе производится обоснование параметров компьютерной модели сельской электрической сети 0,4 кВ в программном комплексе Matlab Simulink. Для обоснования параметров элементов модели используются методы электротехники, расчета электрических сетей и теории переходных процессов в электроэнергетических системах. В работе произведено обоснование параметров следующих основных элементов модели: трехфазного источника питания, трехфазного двухобмоточного трансформатора, фазных и нейтральных проводов электрической сети, а также других элементов. Полученная по итогам обоснования компьютерная модель сельской электрической сети 0,4 кВ позволит провести комплексное исследование режимов работы сельских электрических сетей 0,4 кВ.*

Ключевые слова: *моделирование, математическая модель, компьютерная модель, сельская электрическая сеть, трансформатор, энергосистема, нагрузка, повреждение, короткое замыкание, Matlab Simulink.*

Введение.

В настоящее время математическое, а на его основе компьютерное моделирование режимов работы электрических сетей является одним из наиболее достоверных инструментов их изучения. Наиболее популярной программой для изучения режимов работы электрических сетей является MATLAB Simulink. Программа используется для решения большого набора задач, связанных с электрическими сетями, электроэнергетикой. Так, в работе [1] разработана модель электрической сети для питания железнодорожных составов от кольцевой сети постоянного тока, запитанных от двух тяговых подстанций 110/3,3 кВ. В работе [2] произведено исследование аварийных режимов работы электрической сети 10 кВ и приведены осциллограммы двухфазного и трехфазного коротких замыканий, а также однофазного замыкания на землю. Общим для вышеуказанных работ является отсутствие обоснования параметров моделей, что не позволяет сделать вывод о точности и достоверности полученных результатов моделирования, так как авторами используются стандартные значения блоков моделирования, которые заданы по умолчанию в программном комплексе. Такой подход может давать значительные погрешности при отличии технических характеристик исследуемых элементов электрической сети и предзаданных в программном комплексе.

Значительное количество работ, например, [3-6], в которых применена программа Matlab Simulink, связано с моделированием работы фотоэлектрических установок (ФЭУ) и выдачи ими мощности в сеть. Это позволяет получать вольтамперные характеристики солнечных панелей, исследовать графики выдачи мощности в зависимости от солнечной

инсоляции, анализировать температуру солнечных панелей за время эксплуатации, исследовать загрузку трансформатора при работе сетевой солнечной электростанции с сетями среднего класса напряжения и выявлять экономическую эффективность применения ФЭУ.

Цель работы заключается в обосновании параметров элементов компьютерной модели сельской электрической сети 0,4 кВ, выполняемой в прикладной программе MATLAB SIMULINK.

Материалы и методы исследования.

На рисунке 1 представлен общий вид разработанной компьютерной модели электрической сети 0,4 кВ в программе MATLAB SIMULINK.

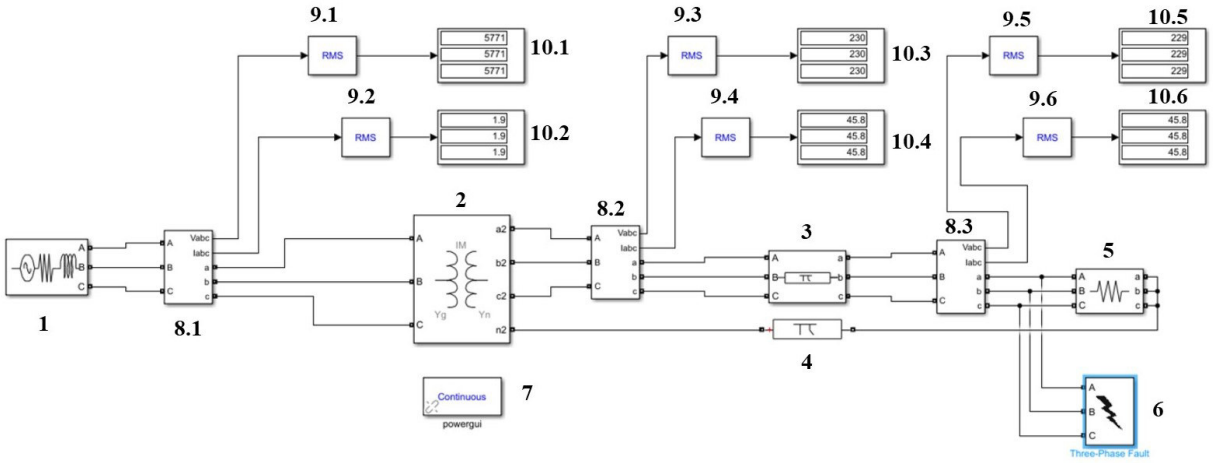


Рисунок 1 – Общий вид компьютерной модели сельской электрической сети 0,4 кВ: 1 – трехфазный источник с номинальным напряжением 10 кВ; 2 – двухобмоточный силовой трансформатор 10/0,4 кВ; 3 – модель фазных проводов линии электропередачи 0,4 кВ; 4 – модель нейтрального провода линии электропередачи; 5 – модель нагрузки 0,4 кВ; 6 – блок моделирования коротких замыканий; 7 – блок PowerGui; 8.1, 8.2, 8.3 – трехфазные блоки измерения токов и напряжений; 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6 – блоки вычисления среднеквадратичного значения; 10.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6 – дисплеи

При обосновании параметров элементов компьютерной модели сельской электрической сети 0,4 кВ частично использовались положения источников [7, 8].

Результаты и обсуждение.

Энергосистема 1 моделируется с помощью стандартного блока «Three-Phase Source» библиотеки Three-Phase Electrical [9]. Блок характеризуется следующими параметрами. Первым параметром является конфигурация источника, т.е. связь трех внутренних источников напряжения, среди которых можно выбрать схему соединения звезда (Y) и звезда с нейтральным проводом (Yn). В нашем случае была выбрана схема соединения в звезду (Y), так как она является характерной для электрических сетей среднего напряжения 6-35 кВ с изолированной нейтралью. Для следующего параметра междуфазного напряжения источника принимаем значение 10 кВ, а параметр начального значения угла напряжения фазы А принимаем равным 0 градусов, при этом параметр частоты, значение которой равно 60 Гц, меняем на стандартную для электрических сетей РФ – 50 Гц.

Следующий параметр задает сопротивление источника питания. Его численное значение определим согласно ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках.

Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ» по формуле (1):

$$X_C = \frac{U_{ср.НН}{}^2}{S_{кз}} = \frac{U_{ср.НН}{}^2}{\sqrt{3}\cdot I_{к.ВН}\cdot U_{ср.ВН}} \text{ (Ом)}, \quad (1)$$

где – $U_{ср.НН}$ среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, 400 В;

$U_{ср.ВН}$ - среднее номинальное напряжение сети, к которой подключена обмотка высшего напряжения трансформатора, 10000 В;

$I_{к.ВН}$ - действующее значение периодической составляющей тока при трехфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, кА. В качестве данного значения примем 1 кА, так как данные токи характерны для электрических сетей 6-10 кВ среднего класса напряжения, питающих сельских потребителей [10];

S_k - условная мощность короткого замыкания у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, МВА.

Таким образом, сопротивление системы составляет:

$$X_C = \frac{U_{ср.НН}{}^2}{\sqrt{3}\cdot I_{к.ВН}\cdot U_{ср.ВН}} = 0{,}009 \text{ (Ом)}. \quad (1)$$

Следующим параметром необходимо задать индуктивность системы. Она рассчитывается по формуле (2) [7]:

$$L_c = \frac{K\cdot R_c}{2\pi\cdot f} \text{ (Гн)}, \quad (2)$$

где f – номинальная частота источника питания, 50 Гц;

π – число Пи, 3,14;

R_c – активное сопротивление энергосистемы, Ом;

K – отношение индуктивного сопротивления энергосистемы к ее активному сопротивлению, о.е., которое рассчитывается по формуле (3) [7]:

$$K = \frac{X_c}{R_c} = \frac{\pi}{\ln(K_{уд}-1)} \text{ (о.е.)}, \quad (3)$$

где $K_{уд}$ – ударный коэффициент, значение которого для распределительных электрических сетей 0,4 кВ принимаем равным 1,369 о.е. [11].

С использованием указанных положений определим значение индуктивности системы по формуле (2):

$$L_c = \frac{K\cdot R_c}{2\pi\cdot f} = 3\cdot 10^{-5} \text{ (Гн)}.$$

При этом индуктивность системы также можно выразить из формулы (4) теоретических основ электротехники с учетом значения сопротивления энергосистемы, полученного по формуле (1) [12]:

$$X_L = 2\pi\cdot f\cdot L \text{ (Ом)} \quad (4)$$

В данном случае при принятии значения X_L равным X_c, расчеты позволяют выявить, что значение L составит $2{,}86\cdot 10^{-5}$ Гн. Таким образом, разность результатов составляет 4,6%. Для компьютерной модели будет использовать значение, полученное по формуле (2).

Еще одним параметром источника питания является базисное напряжение, предзаданное в программе значение которого составляет 25000 В. Оно используется для моделирования коротких замыканий. В разрабатываемой модели сельской электрической сети 0,4 кВ будем использовать значение 10000 В. Последним параметром трехфазного источника питания (энергосистемы) является тип источника. Для модели будет использоваться тип ***swing***, который обеспечивает выработку активной и реактивной

составляющей мощности, что не позволяют сделать другие типы источников.

Двухобмоточный трансформатор 2 моделируется с помощью блока «Three-Phase Transformer Inductance Matrix Type (Two Windings)» библиотеки Three-Phase Electrical [13]. Изначально необходимо задать следующие параметры. В качестве конструкции был выбран бронестержневой тип трансформатора с 5 стержнями, при этом для схем соединения обмоток со стороны высшего и низшего напряжения была задана звезда/звезда с нейтральным проводом (Y/Yn).

На следующем этапе необходимо задать параметры трансформатора. В качестве номинальной частоты элемента задаем значение 50 Гц, а номинальную мощность принимаем равной 250 кВА. В целом, трансформаторы мощностью 250 кВА широко распространены и их количество в электросетевой организации филиале ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго» составляет 802 единицы от общего количества электроустановок 6206, т.е. 13% [14]. Использование данной номинальной мощности трансформатора также позволит сопоставить результаты моделирования с другой математической моделью [15], расчетными методами и данными практической эксплуатации сельской электрической сети 0,4 кВ [16]. Для номинальных значений междуфазных напряжений сторон высшего и низшего напряжения задаем значения 10000 В и 400 В, соответственно.

Определим сопротивление трансформатора, приведенное ко вторичной обмотке по формуле (5) [7]:

$$Z_{T.нн} = \frac{U^2_{нн.nom}}{S_{T.nom}} = 0{,}64 \text{ (Ом)}, \quad (5)$$

где $U_{НН.nom}$ – номинальное напряжение низшей обмотки трансформатора, 400 В;

$S_{T.nom}$ – номинальная мощность силового трансформатора, 250 кВА.

На следующем этапе необходимо задать активное сопротивление первичной и вторичной обмоток в относительных единицах. Оно определяется по формуле (6) [7]:

$$R_1^{o.e.} = R_2^{o.e} = \frac{R_m^{o.e.}}{2} = \frac{R_m}{2 \cdot Z_{m.нн}} \text{ (о.е.)}, \quad (6)$$

где R_T – активное сопротивление трансформатора. Ом.

Активное сопротивление трансформатора рассчитывается по формуле (7) [7]:

$$R_T = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U^2_{нн.nom}}{S_{T.nom}} = 0{,}0095 \text{ (Ом)}, \quad (7)$$

где $\Delta P_{КЗ}$ – потери короткого замыкания, 3700 Вт, согласно [17];

$U_{НН.nom}$ – номинальное напряжение низшей обмотки трансформатора, 400 В;

$S_{T.nom}$ – номинальная мощность силового трансформатора, 250 кВА.

В дальнейших расчетах потребуется полное сопротивление трансформатора, которое рассчитывается по формуле (8) [7]:

$$Z_T = \frac{U_{кз\%}}{100} \cdot \frac{U^2_{нн.nom}}{S_{T.nom}} = 0{,}0288 \text{ (Ом)}, \quad (8)$$

где $U_{кз\%}$ - напряжение короткого замыкания, 4,5%, согласно [17].

Таким образом, сопротивления первичной и вторичной обмоток в относительных единицах, согласно формулы (6):

$$R_1^{o.e.} = R_2^{o.e} = \frac{R_m}{2 \cdot Z_{m.нн}} = 0{,}0074 \text{ (о.е.)}.$$

Также необходимо задать следующие паспортные параметры. Это ток холостого хода в процентах от номинального $I_{XX\%}$ и потери холостого хода ΔP_{xx}. Принимаем данные значения равными 1,7% и 560 Вт, соответственно [17].

Следующим параметром, который необходимо определить, является индуктивное сопротивление трансформатора в относительных единицах, которое определяется по

формуле (9) [7]:

$$X_T^{o.e.} = \frac{\sqrt{Z_m^2 - R_m^2}}{Z_{T.нн}} = 0{,}0425 \text{ (о.е.)}. \quad (9)$$

Особенностью модели трансформатора в программной среде Simulink является то, что в ней необходимо задать параметры нулевой последовательности трансформатора для расчета несимметричных режимов работы. Первым из них является ток холостого хода нулевой последовательности $I_{0xx\%}$ в процентах от номинального. Изначально определим численное значение тока холостого хода нулевой последовательности I_{0xx} по формуле (10) [7]:

$$I_{0xx} = \frac{U_{нн.nom(ф)}}{\sqrt{R_0^2 + X_0^2}} = 906 \text{ (А)}, \quad (10)$$

где X_0 – реактивное сопротивление трансформатора нулевой последовательности, значение которого для ТМ-250-10/0,4 кВ $Y/Y_н$ составляет 0,235 Ом;

R_0 – активное сопротивление трансформатора нулевой последовательности, значение которого для ТМ-250-10/0,4 кВ $Y/Y_н$ составляет 0,097 Ом;

$U_{нн.nom(ф)}$ – номинальное фазное напряжение низшей обмотки трансформатора, 230 В.

При этом номинальный ток низшей обмотки силового трансформатора определим по формуле (11) [12]:

$$I_{нн.nom} = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{нн.nom}} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} \approx 361 \text{ (А)}, \quad (11)$$

где S_T – номинальная мощность силового трансформатора, 250 кВА;

$U_{нн.nom}$ – номинальное напряжение низшей обмотки трансформатора, 400 В.

Исходя из этого, ток холостого хода нулевой последовательности $I_{0xx\%}$ определим по формуле (12) [7]:

$$I_{0xx\%} = \frac{I_{0xx}}{I_{нн.nom}} \cdot 100 = 251 \text{ (\%)}. \quad (12)$$

Следует отметить, что значением по умолчанию является 100%, что позволяет сделать вывод об адекватности полученного численного значения, ввиду совпадения порядков расчетного и исходного значений.

Следующим параметром, который необходимо определить являются потери холостого хода нулевой последовательности, P_0, обусловленные протеканием тока намагничивания нулевой последовательности. Они определяются по формуле (13) [7]:

$$P_0 = {I_0}^2 \cdot R_0 = 79211 \text{ (Вт)} \quad (13)$$

Последним параметром трансформатора, который необходимо задать является реактивное сопротивление нулевой последовательности в относительных единицах. Оно рассчитывается по формуле (14) [7]:

$$X_0^{o.e.} = \frac{X_0}{Z_{T.нн}} = 0{,}37 \text{ (о.е.)}. \quad (14)$$

По умолчанию прикладная программа устанавливает это значение равным 0,03 о.е. Задание параметров модели трансформатора на этом завершено.

Фазные провода линии электропередачи 0,4 кВ 3 моделируются с помощью блока «Three-Phase PI Section Line», а нейтральный 4 моделируется с помощью блока «PI Section Line» библиотеки Three-Phase Electrical [18-19]. В качестве параметров в обоих блоках изначально необходимо задать частоту – 50 Гц. Далее для обоснования параметров провода примем, что сельская электрическая сеть 0,4 кВ выполнена проводом А-35 в связи с тем, что среди голых неизолированных проводов он является наиболее распространенным в сельских

электрических сетях 0,4 кВ по сравнению с другими марками и сечениями проводников; в отдельных линиях его протяженность может достигать до 50% от суммарной протяженности линии [20]. Следует отметить, что параметры провода задаются следующими характеристиками: активным сопротивлением прямой и нулевой последовательности (Ом/км), индуктивностью прямой и нулевой последовательности (Гн/км), емкостью прямой и нулевой последовательности (Ф/км).

Согласно [21] провод А-35 имеет следующие технические характеристики: активное сопротивление прямой последовательности ($r_{1уд}$) – 0,868 Ом/км; активное сопротивление нулевой последовательности ($r_{0уд}$) – 3,472 Ом/км; реактивное сопротивление прямой последовательности ($x_{1уд}$) – 0,301 Ом/км; реактивное сопротивление нулевой последовательности ($x_{0уд}$) – 1,204 Ом/км.

Индуктивность прямой последовательности рассчитывается по формуле (15) [7]:

$$L_{1уд} = \frac{\mu_0}{2\pi}\left[\frac{\mu}{4} + ln\frac{D_{ср}}{R}\right] \cdot 10^3 = 99 \cdot 10^{-5} \text{ (Гн/км)}, \quad (15)$$

где $\mu_0=4\pi\cdot10^{-7}$ Гн/м – относительная магнитная проницаемость вакуума;

μ – относительная магнитная проницаемость материала проводника, которая для меди и алюминия составляем 1 Гн/м;

$D_{ср}$ – среднегеометрическое расстояние между фазными проводниками, которое вычисляется по формуле (16), или принимается равным 40 см по данным учебных пособий таких ученых, как И.А. Бузко, Т.Б. Лещинская, Олин Д.М., Попов Н.М.

R – радиус провода, который для провода А-35 составляет 0,375 см.

$$D_{ср} = \sqrt[3]{D_{AB} \cdot D_{AC} \cdot D_{BC}} \text{ (см)}. \quad (16)$$

где D_{AB}, D_{AC}, D_{BC} – расстояния между фазными проводами, см.

Индуктивность нулевой последовательности рассчитывается по формуле (17) [7]:

$$L_{0уд} = \frac{\mu_0}{2\pi}\left[\frac{\mu}{4} + ln\frac{D_{срN}}{R}\right] \cdot 10^3 = 109 \cdot 10^{-5} \text{ (Гн/км)}, \quad (17)$$

где $D_{срN}$ – среднегеометрическое расстояние между фазными проводниками и нулевым прводником, которое вычисляется по формуле (18), см:

$$D_{срN} = \sqrt[3]{D_{AN} \cdot D_{BN} \cdot D_{CN}} = 68 \text{ (см)}. \quad (18)$$

В свою очередь, расстояния D_{AN}, D_{BN} были рассчитаны как гипотенузы прямоугольного треугольника исходя из типового проекта трехфазной воздушной линии электропередачи 0,4 кВ с 4-мя неизолированными проводами «Унифицированные деревянные опоры ВЛ 0,4 и 6-10 кВ для особогололедных районов и районов с повышенными скоростями ветра. Выпуск I. Деревянные опоры ВЛ 0,4 кВ. Серия 3.407-118. Утверждены и введены в действие Минэнерго СССР с 1 июля 1976 г. Решение №102 от 13 мая 1976 г.» (рисунок 2).

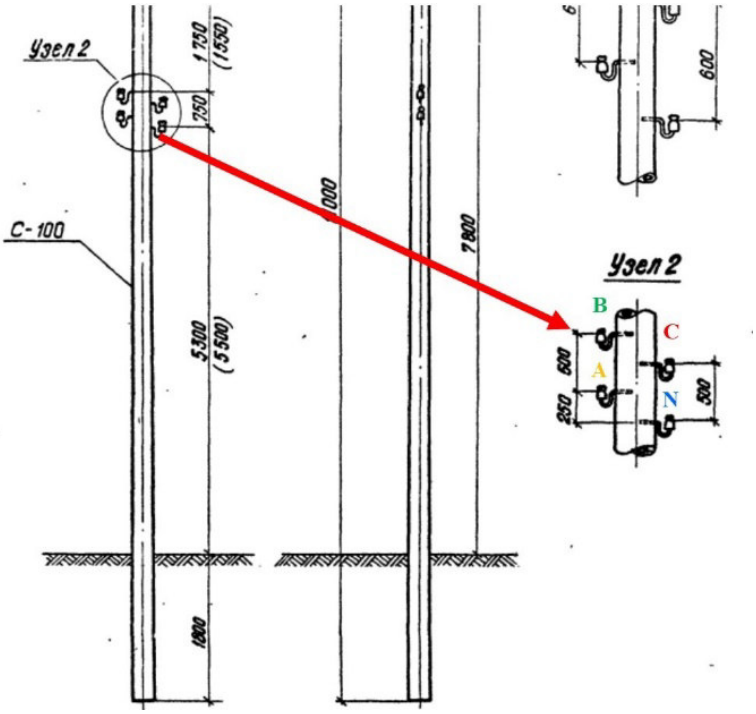


Рисунок 2 – Схема расположения проводов на промежуточной опоре воздушной линии электропередачи 0,4 кВ с 4-мя голыми проводами

Емкость линии прямой и нулевой последовательности линии электропередачи 0,4 кВ рассчитывается по формулам (19) и (20) [7]:

$$C_{1уд} = \frac{1}{18 \cdot ln\frac{D_{ср}}{R}} = 12 \cdot 10^{-9} \text{ (Ф/км)}; \quad (19)$$

$$C_{0уд} = \frac{1}{18 \cdot ln\frac{D_{срN}}{R}} = 10 \cdot 10^{-9} \text{ (Ф/км)}. \quad (20)$$

Последним параметром воздушной линии электропередачи 0,4 кВ является протяженность в километрах (L), которая в разрабатываемой модели будет варьироваться в разных пределах в зависимости от исследуемых режимов работы электрической сети.

Нагрузка (5 – рисунок 1) моделируется блоком Three-Phase Series RLC Branch [22], параметрами которого являются сопротивление в Омах, индуктивность в Генри, емкость в Фарадах.

Повреждения в разрабатываемой модели сельской электрической сети 0,4 кВ моделируются с использованием блока Three-Phase Fault (6 – рисунок 1) [23]. Блок позволяет моделировать разные виды повреждений путем выбора поврежденных фаз и земли (отмечать повреждения между элементами: фазой А, фазой В, фазой С и землей). Первым его параметром является время коммутации, позволяющее выбрать интервалы аварийного режимы за время моделирования. Это позволяет как получить осцилограммы нормального рабочего режима, переходящего в аварийный, так и исследовать установившийся аварийный режим работы электрической сети. Следующим параметром блока является сопротивление в точке повреждения, которое с учетом отечественного опыта расчета токов короткого замыкания можно назвать сопротивлением дуги, оно задается в Омах. Также в блоке задается сопротивление земли в Омах, необходимое для моделирования несимметричных аварийных режимов. Блок также позволяет задавать параметры сопротивления и емкости при обрыве провода на землю в электрической сети среднего класса напряжения с изолированной нейтралью. При этом данные параметры в разрабатываемой модели использоваться не будут.

Блок powergui (7 – рисунок 1) является системным и предназначен для отображения графического интерфейса пользователя, без него моделирование запустить невозможно [24].

Для измерения используются блоки Three-Phase V-I Measurement 8.1, 8.2, 8.3. Блоки позволяют измерять значения токов и напряжений в разрабатываемой модели сельской электрической сети 0,4 кВ [25].

Вычисление действующих значений токов и напряжений осуществляется с помощью блока «среднеквадратичное» 9.1-9.6, который определяет среднеквадратичное значение электрического параметра за период моделирования [26]. Единственным параметром блока, который необходимо задать, является частота электрической сети 0,4 кВ, равная 50 Гц для разрабатываемой модели.

Для отображения результатов моделирования используются блоки «дисплей» 10.1-10.6, который отображает значения электрических параметров, характерных для заданного режима работы сельской электрической сети 0,4 кВ [27]. Единственным параметром блока является формат отображения данных, который в используемой модели был задан в формате короткого, то есть в формате округления измеренного значения до тысячных.

В разрабатываемой модели сельской электрической сети 0,4 кВ также можно использовать и другие блоки для моделирования работы коммутационных аппаратов, возобновляемых источников энергии, параллельной работы нескольких трансформаторов, работы электрических машин как при их питании от трансформатора, так и параллельно с сетью. Они будут описаны в дальнейшем при исследовании отдельных режимов работы сельской электрической сети 0,4 кВ.

Заключение.

Обзор литературы выявил актуальность компьютерного моделирования электрических сетей в прикладной программе Matlab Simulink. В работе произведена разработка и обоснование параметров математической модели сельской электрической сети 0,4 кВ в Matlab Simulink. Разработанная модель позволит провести комплексное исследование режимов работы сельских электрических сетей 0,4 кВ, в том числе при использовании в них фотоэлектрических установок, средств секционирования.

Список использованных источников

1) Гречишников В.А., Бредихин Я.В., Петрова М.Н., Кокушкин Р.В. Создание единой модели системы тягового и внешнего электроснабжения в MatLab/Simulink // Молодой ученый. 2021. № 36 (378). С. 19-24.

2) Новаш И.В., Мешкова А.Н. Моделирование распределительной сети среднего напряжения в MATLAB SIMULINK // В сборнике: Энергетика Беларуси - 2021. Материалы Республиканской научно-практической конференции. Министерство образования Республики Беларусь; Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет. Минск, 2021. С. 162-165.

3) Sudhakar T.D., Rajan M., Srinivasan K., Ramachandran Raja Prabu, Narmadha T., Krishnan M. Modeling and Simulation of Distribution Network with the Integration of Distribution Generator using Matlab // Indian Journal of Science and Technology. 2016. 9. 10.17485/ijst/2016/v9i12/89947.

4) Belhaouas N., AitCheikh M.S., Malek A., Larbes C. Matlab-Simulink of photovoltaic system based on a two-diode model simulator with shaded solar cells // Revuedes Energies Renouvelables. 2013; 16(1):65–73.

5) Ayedh H., Qahtani A.L. A Simplified and Accurate Photovoltaic Module Parameters Extraction Approach using Matlab // Industrial Electronics (ISIE). IEEE International Symposium 2014. pp. 1748-1753.

6) Raut D.B., Bhattrai A. Performance Analysis of Grid Connected Solar PV System Using Matlab/Simulink // Rentech Symposium Compendium. №3. September, 2013. pp. 48-54.

7) Защита электрических сетей напряжением 380 В при однофазных коротких замыканиях: монография / А.М. Ершов, А.И. Сидоров, Р.Г. Валеев. – Москва; Вологда; Инфра-Инженерия, 2021. – 232 с.: ил., табл.

8) Валеев Р.Г., Млоток А.В., Ершов А.М., Сидоров А.И. Моделирование электрической сети напряжением 380 В с воздушными линиями в программной среде MATLAB-SIMULINK // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 9-10. С. 116-128.

9) Three-Phase Source. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/threephasesource.html?ysclid=lmq2c9dbvb322287470 (дата обращения: 19.09.2023 г.).

10) Виноградов А.В., Капитонов А.И., Лансберг А.А., Сорокин Н.С., Фомин И.Н. Определение токов коротких замыканий в сельской электрической сети 10 кВ, секционируемой реклоузерами для осуществления дистанционного контроля их срабатывания // Вестник аграрной науки Дона. 2021. № 1 (53). С. 34-43.

11) Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Корнеева, Т.В. Чиркова. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 448 с.

12) Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: Учебное пособие. 7-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2009. — 592 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

13) Three-Phase Transformer Inductance Matrix Type (Two Windings). Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/threephasetransformerinductancematrixtypetwowindings.html. (дата обращения: 19.09.2023 г.).

14) Лансберг А.А., Виноградов А.В., Виноградова А.В. Структура парка силовых трансформаторов с высшим напряжением 6-10 кВ на примере электросетевой организации филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго», обслуживающей сельские электрические сети // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. №5. С. 34-45.

15) Проект РЗА. Лаборатория РЗА. URL: https://pro-rza.ru/laboratoriya-rza/ (дата обращения: 22.08.2023 г.).

16) Виноградов А.В., Лансберг А.А. Опыт измерений при однофазном коротком замыкании в электрической сети 0,4 кВ // Агротехника и энергообеспечение. 2022. №3(36). С. 5-15.

17) ТМ-250 Трансформатор силовой трехфазный масляный мощностью 250 кВА. ЧЕБ-Трансформатор. URL: https://cheb-transformator.com/catalog/tm250?ysclid=lmqasapi20837825917 (дата обращения: 19.09.2023 г.).

18) Three-Phase PI Section Line. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/threephasepisectionline.html?ysclid=lmswzo39gv918812895 (дата обращения: 19.09.2023 г.).

19) PI Section Line. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/pisectionline.html?ysclid=lmsx1itmpi484746443 (дата обращения: 19.09.2023 г.).

20) Балабин А.А., Виноградов А.В., Лансберг А.А. Анализ работы и рекомендации по совершенствованию системы накопления электрической энергии, установленной в сельской электрической сети 0,4 кВ // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 1. С. 72-79.

21) Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ / под ред. И.Т. Горюнова и А.А. Любимова. – М.: Папирус ПРО, 2003-2005.

22) Three-Phase Series RLC Branch. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/threephaseseriesrlcbranch.html?ysclid=lmyli12dy0762208114 (дата обращения: 25.09.2023 г.).

23) Three-Phase Fault. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/threephasefault.html?ysclid=lmylawltfa934856640 (дата обращения: 25.09.2023 г.).

24) powergui. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/powergui.html?ysclid=ln1tjpmsha385997320 (дата обращения: 25.09.2023 г.).

25) Three-Phase V-I Measurement. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/threephasevimeasurement.html?ysclid=lmymmvsfuq486232116 (дата обращения: 25.09.2023 г.).

26) RMS. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/dsp/ref/rms.html?ysclid=lmymrbond6209700497 (дата обращения: 25.09.2023 г.).

27) Display. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/simulink/slref/display.html?ysclid=lmymx6hkl1575424931 (дата обращения: 25.09.2023 г.).

Bibliography

1) Grechishnikov V.A., Bredikhin Ya.V., Petrova M.N., Kukushkin R.V. Creation of a unified model of traction and external power supply system in MatLab/Simulink // Young Scientist. 2021. №36 (378). pp. 19-24.

2) Novash I.V., Meshkova A.N. Modeling of a medium voltage distribution network in MATLAB SIMULINK // In the collection: Energy of Belarus - 2021. Materials of the Republican scientific and practical conference. Ministry of Education of the Republic of Belarus; Belarusian National Technical University, Faculty of Energy. Minsk, 2021. pp. 162-165.

3) Sudhakar T.D., Rajan M., Srinivasan K., Ramachandran Raja Prabu, Narmadha T., Krishnan M. Modeling and Simulation of Distribution Network with the Integration of Distribution Generator using Matlab // Indian Journal of Science and Technology. 2016. 9. 10.17485/ijst/2016/v9i12/89947.

4) Belhaouas N., AitCheikh M.S., Malek A., Larbes C. Matlab-Simulink of photovoltaic system based on a two-diode model simulator with shaded solar cells // Revuedes Energies Renouvelables. 2013; 16(1):65–73.

5) Ayedh H., Qahtani A.L. A Simplified and Accurate Photovoltaic Module Parameters Extraction Approach using Matlab // Industrial Electronics (ISIE). IEEE International Symposium 2014. pp. 1748-1753.

6) Raut D.B., Bhattrai A. Performance Analysis of Grid Connected Solar PV System Using Matlab/Simulink // Rentech Symposium Compendium. №3. September, 2013. pp. 48-54.

7) Protection of electrical networks with 380 V voltage at single-phase short circuits: monograph / A.M. Ershov, A.I. Sidorov, R.G. Valeev. – Moscow; Vologda; Infra-Engineering, 2021. – 232 p.: ill., table.

8) Valeev R.G., Molotok A.V., Ershov A.M., Sidorov A.I. Modeling of an electric network with 380 V voltage with overhead lines in the MATLAB-SIMULINK software environment // News of higher educational institutions. Energy problems. 2013. №9-10. pp. 116-128.

9) Three-phase source. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/threephasesource.html?ysclid=lmq2c9dbvb322287470 (accessed 19.09.2023).

10) Vinogradov A.V., Kapitonov A.I., Lansberg A.A., Sorokin N.S., Fomin I.N. Determination of short-circuit currents in a rural 10 kV electrical network sectioned by reclosers for remote monitoring of their operation // Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2021. №1 (53). pp. 34-43.

11) Rozhkova L.D. Electrical equipment of power stations and substations: textbook for students. sred. prof. education / L.D. Rozhkova, L.K. Korneeva, T.V. Chirkova. – 4th ed., ster. – M.: Publishing Center «Academy», 2007. – 448 p.

12) Atabekov G. I. Theoretical foundations of electrical engineering. Linear electrical circuits: A textbook. 7th ed., erased. — St. Petersburg: Publishing House «Lan», 2009.— 592 p.: ill.— (Textbooks for universities. Special literature).

13) Three-phase matrix type transformer with inductance (two windings). Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/threephasetransformerinductancematrixtypetwowindings.html. (accessed: 09/19/2023).

14) Lansberg A.A., Vinogradov A.V., Vinogradova A.V. The structure of the park of power transformers with a higher voltage of 6-10 kV on the example of the electric grid organization of the branch of PJSC Rosseti Center-Orelenergo, serving rural electric networks // News of higher educational institutions. Energy problems. 2021. №23(5). pp. 34-45.

15) The RPA project. RZA Laboratory. URL: https://pro-rza.ru/laboratoriya-rza / (accessed: 08/22/2023).

16) Vinogradov A.V., Lansberg A.A. Measurement experience with a single-phase short circuit in an electrical network of 0.4 kV // Agrotechnics and energy supply. 2022. №3(36). pp. 5-15.

17) TM-250 is a power three-phase oil transformer with a capacity of 250 kVA. CHEB is a Transformer. URL: https://cheb-transformator.com/catalog/tm250?ysclid=lmqasapi20837825917 (accessed 19.09.2023).

18) Three-phase section line PI. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/threephasepisectionline.html?ysclid=lmswzo39gv918812895 (accessed 19.09.2023).

19) Section line PI. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/pisectionline.html?ysclid=lmsx1itmpi484746443 (accessed 19.09.2023).

20) Balabin A.A., Vinogradov A.V., Lansberg A.A. Analysis of the work and recommendations for improving the electric energy storage system installed in the rural 0.4 kV electric grid // Agroengineering. 2022. Vol. 24. No. 1. pp. 72-79.

21) Makarov E.F. Handbook of electrical networks 0,4-35 kV and 110-1150 kV / edited by I.T. Goryunov and A.A. Lyubimov. – M.: Papyrus PRO, 2003-2005.

22) Three-Phase Series RLC Branch. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/ sps/powersys/ref/threephaseseriesrlcbranch.html?ysclid=lmyli12dy0762208114 (accessed 25.09.2023).

23) Three-Phase Fault. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/ sps/powersys/ref/threephasefault.html?ysclid=lmylawltfa934856640 (accessed 25.09.2023).

24) powergui. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/ sps/powersys/ref/powergui.html?ysclid=ln1tjpmsha385997320 (accessed 25.09.2023).

25) Three-Phase V-I Measurement. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/powersys/ref/threephasevimeasurement.html? ysclid= lmymmvsfuq486232116 (accessed 25.09.2023).

26) RMS. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/dsp/ref/ rms.html?ysclid=lmymrbond6209700497 (accessed 25.09.2023).

27) Display. Docs.Exponenta.ru. URL: https://docs.exponenta.ru/simulink /slref/display.html?ysclid=lmymx6hkl1575424931 (accessed 25.09.2023).

Александр Александрович Лансберг, специалист лаборатории электроснабжения и теплообеспечения ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, lansbergaa@vk.com

DEVELOPMENT AND SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF A MATHEMATICAL MODEL OF A 0.4 kV RURAL ELECTRIC NETWORK IN MATLAB SIMULINK

Lansberg A.A.[1]

[1]Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM»

Abstract. Currently, modeling is one of the most effective tools for studying the operating modes of electrical networks. In this regard, using the Matlab Simulink application program, the development and justification of the parameters of the 0.4 kV rural electric network is carried out to study its operating modes. To substantiate the parameters, the theoretical foundations of electrical engineering, methods of calculating electrical networks and the theory of transients in electric power systems are used. The paper substantiates the main elements of the model: a three-phase power supply, a three-phase two-winding transformer, phase and neutral wires of the electrical network, as well as other elements. The mathematical model of the 0.4 kV rural electric network obtained based on the results of the study will allow for a comprehensive study of the operating modes of 0.4 kV rural electric networks, including when using photovoltaic installations and partitioning facilities in them.

Keywords: modeling, mathematical model, rural electric grid, transformer, power system, load, damage, short circuit, Matlab Simulink.

Alexander Alexandrovich Lansberg, specialist of the Laboratory of Power Supply and Heat Supply of FSBSI FSAC VIM, lansbergaa@vk.com

УДК 621.311.42:681.511:621.3.078+621.311.42:004.9:621.3.061

ОБЗОР ОБОРУДОВАНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 6-20/0,4 КВ И СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Виноградов А.В.[1,2], Сорокин Н.С.[2]

[1] ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
[2] ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

Аннотация. *Развитие цифровизации, автоматизации сельских электрических сетей требует особого внимания к обеспечению функциональности трансформаторных подстанций 6-20/0,4 кВ. Таких трансформаторных подстанций в распределительном сетевом комплексе насчитывается более 475 тысяч штук. В последнее время появилось большое количество оборудования для обеспечения наблюдаемости в электрических сетях 0,4-20 кВ. В статье приведен обзор оборудования, представленного на рынке Российской Федерации для автоматизации трансформаторных подстанций 6-20/0,4 кВ. Описаны перспективные функции цифровой трансформаторной подстанции 6-20/0,4 кВ. Сделан вывод о том, что оборудование, представленное на рынке, не обеспечивает выполнения большинства функций, необходимых для реализации цифровой трансформаторной подстанции 6-20/0,4 кВ. Предложена концептуальная структурная схема цифровой трансформаторной подстанции 6-20/0,4 кВ и дано краткое описание ее работы.*

Ключевые слова: *оборудование автоматизации и телеметрии, трансформаторная подстанция, цифровая трансформаторная подстанция, сельские электрические сети, электроснабжение.*

Введение. Общее количество трансформаторных подстанций распределительного электросетевого комплекса, находящихся в эксплуатации, составляет более 489 тысяч, в том числе: - напряжением 110-220 (330) кВ - 6 982 ед.; - напряжением 35 кВ - 7 332 ед.; - напряжением 6-20 кВ - 475 027 ед. [1]. Активное развитие цифровизации электрических сетей напрямую затрагивает и подстанционное оборудование. Появилось понятие цифровой подстанции (ЦПС). Это, согласно [2], подстанция с широким внедрением систем автоматизации и управления, цифровых коммуникационных систем, построенных на базе открытых протоколов международного стандарта МЭК 61850. Строятся ЦПС, как правило, классов напряжения 110 кВ и выше, разработаны нормативные документы по ним [3].

Осуществляется и автоматизация, оснащение телеметрией трансформаторных подстанций 6-20/0,4 кВ, проводятся научные исследования в данной теме. В частности, в [4] приведены желательные функции цифровой трансформаторной подстанции (ЦТП) 6-20/0,4 кВ. К основным из них отнесены: дистанционное и автоматическое управление коммутационными аппаратами, установленными на ТП; дистанционный контроль режимов работы оборудования ТП, отходящих ЛЭП; контроль показателей качества электроэнергии на высокой и низкой стороне ТП, в отходящих ЛЭП; адаптивное автоматическое регулирование напряжения в сети 0,4 кВ [11]; автоматическое адаптивное регулирование реактивной мощности в сети; определение мест повреждений в отходящих ЛЭП; контроль надёжности электроснабжения потребителей с помощью оснащения ТП системами

мониторинга надёжности и качества электроэнергии; контроль загрузки силовых трансформаторов и оценка потерь электроэнергии в них с ранжированием на потери холостого хода и короткого замыкания в процессе функционирования ТП; предотвращение несанкционированной подачи в сеть 10 кВ напряжения от сети 0,4 кВ посредством обратной трансформации; осуществление алгоритмов АПВ и АВР на ТП и отходящих ЛЭП с учётом возможности запрета их работы на аварийный участок [4].

Материалы и методы. В статье выполнен обзор ранка оборудования для автоматизации трансформаторных подстанций 6-20/0,4 кВ, предложена концептуальная структурная схема цифровой трансформаторной подстанции.

Результаты и обсуждение. Ряд компаний предлагает оборудование для цифровизации трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ. Так, компания АО ГК «Системы и технологии» представляет широкий спектр оборудования для цифровизации трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ [5]:

- устройства сбора и передачи данных (к устройствам сбора и передачи данных относятся разного вида контроллеры, предназначенные для автоматизации учета энергоресурсов и диспетчеризации объектов энергетики (например: SM160-02, SM1-02M));
- информационно-вычислительные комплексы (комплексы информационно-вычислительные (ИВК) предназначены для измерений электрической энергии, мощности, коммерческого и технического учёта энергоресурсов, сбора, обработки, хранения, отображения и передачи полученной информации (ИВК Пирамида));
- счетчики электроэнергии (счетчики однофазные/трехфазные предназначены для измерения и учёта активной и реактивной электрической энергии. Позволяют контролировать такие параметры как: фазные токи; частота сети; отключение частоты; активная мгновенная мощность по каждой фазе; реактивная мгновенная мощность по каждой фазе; полная мгновенная мощность по каждой фазе; положительного и отрицательного отклонения напряжения; фазные напряжения (например:ST1000-9;ST2000-12));
- комплексы телемеханики (комплексы устройств телемеханики многофункциональные (КТМ) предназначены для построения распределённых систем диспетчерского и автоматического контроля и управления территориально распределенными технологическими объектами);
- устройства синхронизации времени (предназначены для обеспечения единого времени в автоматизированных информационно-измерительных системах).

Представленное оборудование позволяет выполнять ряд функциональных возможностей для организации автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии и мощности (АИИС КУЭ), комплексов устройств телемеханики многофункциональных и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) [5].

Компания ООО «Энтелс» имеет ряд разработанных решений для автоматизации трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, предназначенных для автоматизации учета, диспетчеризации, энергомониторинга и контроля доступа на трансформаторные пункты. Данные решения разработаны совместно с компанией "Россети Центр" и внедряются в рамках проектов по цифровизации распределительных сетей [6].

Оборудование данной компании позволяет получать информацию с приборов учета (фазные токи; частота сети; отключение частоты; активная мгновенная мощность по каждой фазе; реактивная мгновенная мощность по каждой фазе; полная мгновенная мощность по

каждой фазе; положительного и отрицательного отклонения напряжения; фазные напряжения), датчиков, устройств охранной сигнализации и контролировать наличие напряжения на отходящих присоединениях [6]. Для этого на ТП 6-10/0,4кВ устанавливается шкаф, предназначенный для организации учета электроэнергии и диспетчеризации. Шкаф оборудован контроллером (например: КМ ЭНТЕК), модулем контроля наличия напряжения фаз и счетчиков электроэнергии косвенного включения (например: Меркурий 230) [6]. Шкаф контролирует такие параметры как: дискретные сигналы; напряжение по фазам отходящих фидеров; телеизмерения со счетчиков электроэнергии косвенного включения на вводе 0,4 кВ в ТП; а так же в некоторых модификациях осуществляется контроль телеизмерений со счетчиков, устанавливаемых у абонентов, по интерфейсу PLC [6].

Компания НПО «МИР» представляет широкий спектр оборудования для цифровизации трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ [7]:

- интеллектуальные приборы учета (приборы учета для многотарифного учета активной и реактивной энергии прямого и обратного направлений в однофазных и трехфазных цепях переменного тока. Позволяют измерять такие параметры как: напряжение; ток; активную и реактивную энергию; изменение параметров качества электроэнергии; измерение тока в нейтрали; установившееся отклонение напряжения; положительное и отрицательное отклонение напряжения; отклонение значения основной частоты напряжения; провалы напряжения и перенапряжения; прерывания напряжения (например:МИР С-03.Б));

- контроллеры и оборудование для передачи данных (контроллеры предназначены для использования в качестве контроллера присоединения, объектового контроллера или коммуникационного шлюза при создании АСУ ТП или систем телемеханики. Выполняют функции контроллера, а так же осциллографирования, измерение параметров электрической сети (например: КПР-01М));

- коммуникаторы предназначены для автоматического сбора информации с приборов учета электроэнергии, многофункциональных измерительных преобразователей и других интеллектуальных устройств (ИУ) (например: МИР МК-01.А);

- модули ввода-вывода предназначены для сбора и обработки дискретных сигналов и выдачи дискретных команд управления в составе комплексов и систем автоматизации технологических процессов (например: МИР МВ-01);

- преобразователи измерительные предназначены для измерения электрических параметров (сила тока, напряжение, мощность) и преобразования измеренных значений в единые унифицированные токовые сигналы для систем контроля и управления (например: серия «МИР»).

Компания «ОВЕН» производит следующие оборудование для цифровизации трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ [8]:

- контроллеры для диспетчеризации и телемеханики (рекомендованы для построения систем телемеханики АСУ ТП электрической подстанции (35/6(10)/0,4 кВ). Позволяют производить сбор со счетчиков текущих (показания, измерения) и архивных (энергия, профили мощности) данных, журналов событий счетчиков для передачи на любой верхний уровень (например ПЛК 110-30-ТЛ [М02]));

- средства измерения или контроллеры для учета ресурсов (контроллеры для учета ресурсов предназначены для считывания данных коммерческого и/или технического учёта со счётчиков по последовательным интерфейсам и передачи полученной информации на

верхний уровень по каналам GPRS и Ethernet. Используются в системе учета электрической подстанции (0,4/6(10)/35 кВ) (например: КСОД));

- SCADA-система (инструмент для проведения полного цикла работ по настройке сбора данных и управлению, заданию алгоритмов обработки, формированию сигналов тревог, настройке баз данных истории, формированию технологических и оперативных схем отображения информации (например: ОВЕН Телемеханика ЛАЙТ);

- модемы для удаленного обмена данными (Позволяют через беспроводные системы связи стандарта GSM производить удаленный обмен данными с оборудованием, оснащенным последовательными интерфейсами связи RS232 или RS485 (например: ПМ01));

- модули ввода (модули предназначены для измерения унифицированных аналоговых сигналов встроенными аналоговыми входами, преобразования измеренных величин в значение физической величины и последующей передачи этого значения по сети RS-485 (например, МВ110));

- модули измерения электрической сети (модули предназначены для измерения напряжения, силы тока, частоты, мощности, фазового угла и коэффициента мощности в трехфазных сетях и передачи результатов измерений в сеть по RS-485 (например МЭ110)).

Представленное оборудование позволяет выполнять ряд функциональных возможностей для организации комплексов устройств телемеханики многофункциональных и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) [8].

Оборудование, компаний АО ГК «Системы и технологии», ООО «Энтелс», «ОВЕН», НПО «МИР», не обеспечивает большинства перечисленных выше функций, которые ЦТП 6-10/0,4 кВ.

Предложена концептуальная структурная схема ЦТП 6-10/0,4 кВ (рисунок 1) описанная в [9].

Структурная схема ЦТП содержит: датчики напряжения (ДН 1, ДН 6, ДН 10, ДН 14, ДН 17, ДН 20, ДН 26, ДН 32); датчики тока (ДТ 7, ДТ 11, ДТ 18, ДТ 24, ДТ 30); датчики положения коммутационных аппаратов (ДП 3, ДП 4, ДП 13, ДП 15, ДП 22, ДП 23, ДП 27, ДП 29, ДП 34, ДП 35, ДП 51); блок контроля тока (БКТ 45); блок контроля напряжения (БКН 46); блок контроля положения коммутационных аппаратов (БКПКА 44); блок бесперебойного питания (ББП 48); датчики параметров режимов работы потребителей (ДПРРп 36, ДПРРп 39); коммутационный элемент для создания видимого разрыва на напряжение 10 кВ (КЭ 10кВ 2); коммутационные элементы для создания видимого разрыва на напряжение 0,4 кВ (КЭ 0,4кВ 12, КЭ 0,4кВ 21, КЭ 0,4кВ 28, КЭ 0,4кВ 33); вакуумный коммутационный элемент с возможностью дистанционного управления на напряжение 10 кВ (ВКЭ 10 кВ 5); вакуумный коммутационный аппарат с возможностью дистанционного управления на напряжение 0,4 кВ (ВКЭ 0,4 кВ 16, ВКЭ 0,4 кВ 19, ВКЭ 0,4 кВ 25, ВКЭ 0,4 кВ 31,); устройства сбора, приема и передачи данных потребителей (УСППДп 37, УСППДп 40) ; блок регулирования напряжения (БРН 8); блок регулирования реактивной мощности (БРРМ 42); силовой двухобмоточный трансформатор с устройством регулирования напряжения под нагрузкой (Т 9); батарея конденсаторов с переменной ёмкостью (БКПЕ 50); устройство сбора, приема и передачи данных (УСППД 49); блок контроля и управления трансформаторной подстанцией (БКиУТП 47); Потребители (Потр 38, Потр 41).

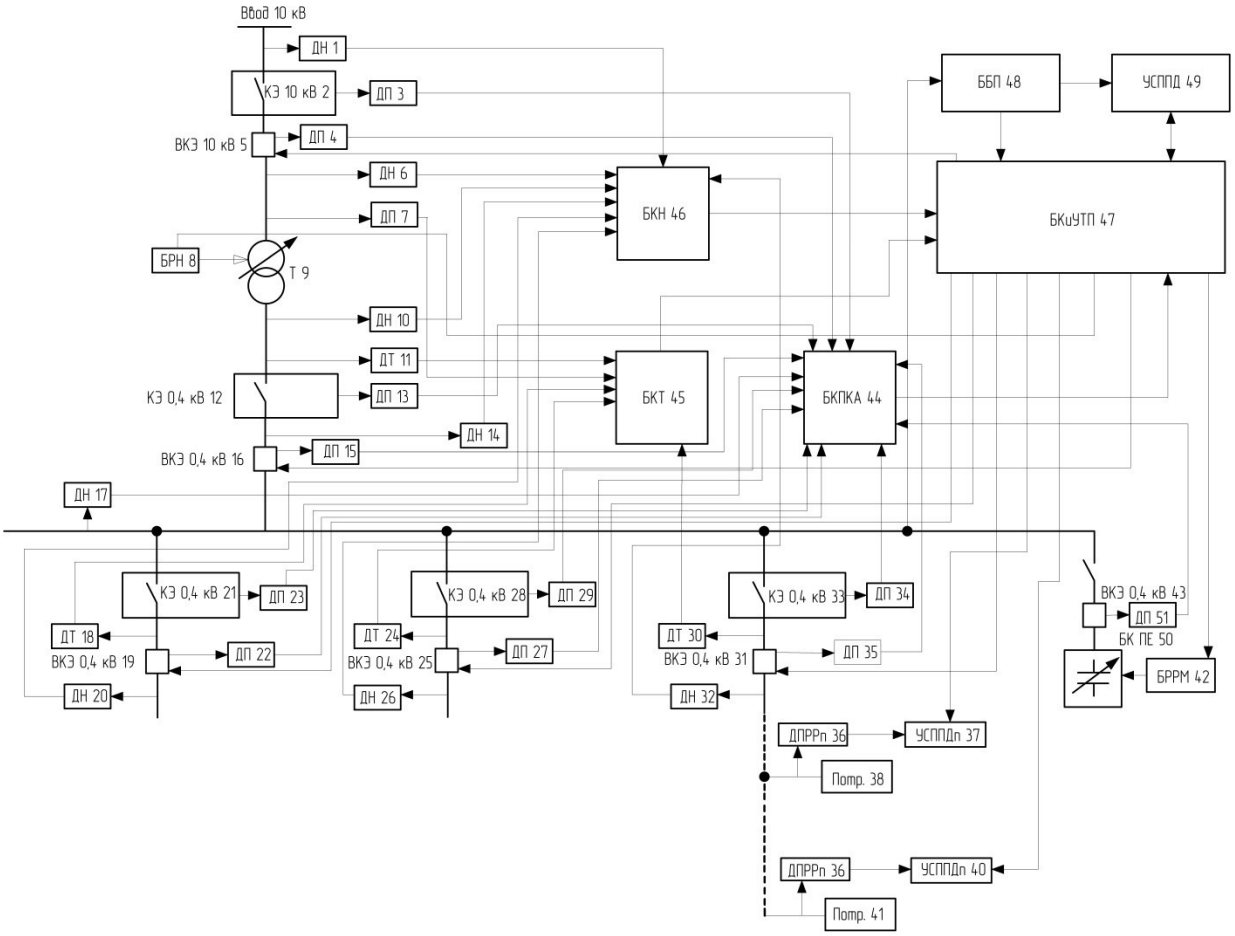


Рисунок 1 - Концептуальная структурная схема ЦТП 6-10/0,4 кВ

Датчики напряжения осуществляют контроль напряжения в точках их установки и передачу данных о значениях напряжения в блок контроля напряжения. Блок контроля напряжения БКН46 осуществляет первичную обработку получаемых данных, выявляя отклонения напряжения, исчезновения, прерывания, искажения напряжения, несимметрию по напряжению и выполняет передачу информации об этом (и о точке, в которой произошёл данный факт), а также значения напряжения во всех контрольных точках в блок контроля и управления трансформаторной подстанцией [9].

Датчики тока осуществляют контроль значений тока в точках их установки и передачу информацию о значениях тока в блок контроля тока БКТ45. БКТ45 осуществляет первичную обработку полученных данных о значениях тока, выявляя точки, в которых произошло превышение заданных значений тока, появился ток короткого замыкания, имеются факты несимметрии по току. Далее БКТ45 передаёт информации, в том числе значения тока во всех контрольных точках, в блок контроля и управления трансформаторной подстанцией БКиУТП47 [9].

Датчики положения коммутационных аппаратов осуществляют контроль положения коммутационных аппаратов и передачу данных в БКПКА 44. БКПКА 44 осуществляет обработку данных с датчиков положения коммутационных аппаратов и передачу информации в БКиУТП47.

Блок бесперебойного питания обеспечивает бесперебойное питание компонентов сети.

Датчики параметров режимов работы потребителей осуществляют контроль значений тока, напряжения, потребления электроэнергии в точках присоединения потребителей и

передачу данных в устройства сбора, приёма и передачи данных потребителей. Устройства сбора, приёма и передачи данных потребителей осуществляют сбор, приём и передачу данных о значениях тока и напряжения в точках присоединения потребителей по каналу связи в БКиУТП47 [9].

Блок регулирования напряжения осуществляет активно-адаптивное регулирование напряжения [10] с учётом значения напряжения на шинах подстанции и напряжения в точках присоединения потребителей по алгоритмам, сформированным в блоке контроля и управления трансформаторной подстанцией [9].

Блок регулирования реактивной мощности осуществлет активно-адаптивное регулирование реактивной мощности с учётом значения напряжения на шинах подстанции и напряжения в точках присоединения потребителей, значения реактивной мощности в сети по алгоритмам, сформированным в блоке контроля и управления трансформаторной подстанцией [9].

Блок контроля и управления трансформаторной подстанцией БКиУТП47 осуществляет обработку информации, получаемой с БКТ45, БКН46, БКПКА44, от УСПД потребителей, информации и команд, поступающих от УСПД49 и на основании этого формирует сигналы управления коммутационными аппаратами с возможностью дистанционного управления, блоком регулирования напряжения, блоком регулирования реактивной мощности. В БКиУТП47 заложены алгоритмы активно-адаптивного регулирования напряжения, активно-адаптивного регулирования реактивной мощности, сигнализации и блокировки от обратной трансформации при несанкционированной подаче напряжения со стороны низкого напряжения трансформаторной подстанции, в том числе со стороны отходящих линий [11, 12], алгоритмов автоматического повторного включения коммутационных аппаратов отходящих линий в необходимых случаях, осуществляющий учёт потребляемой электроэнергии по отходящим линиям и на вводах высокого и низкого напряжения трансформаторной подстанции с выделением потерь электроэнергии в силовом трансформаторе и отходящих линиях, учёт количества и продолжительности отключений по отходящим линиям и по трансформаторной подстанции, а также другие заложенные в него алгоритмы контроля, мониторинга, учёта и управления [9].

Выводы:

Оборудование автоматизации и телемеханики для ТП 6-20/0,4 кВ, представленное на отечественном рынке, не обеспечивает выполнения многих функций, необходимых для реализации ЦТП 6-10/0,4 кВ.

Предложенная концептуальная структурная схема ЦТП 6-10/0,4 кВ, позволяет повысить наблюдаемость сети 0,4-20кВ, эффективность диспетчерского управления сетями. Это, в свою очередь, ускорит ликвидацию нарушений и аварий и снизит недоотпуск электроэнергии за счет получения оперативной информации о состоянии оборудования и возможности оперативного управления объектом, а также снизит потери электрической энергии и мощности. Также особенностью схемы является применение вакуумных коммутационных элементов на стороне 0,4 кВ для обеспечения возможности дистанционного управления отходящими линиями, реализации функции АПВ.

Список использованных источников

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» Утверждено Советом Директоров ПАО «Россети» (протокол от 22.02.2017 №

252). - М.: 2017.- 196 с.

2. СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС) [Текст]: Утвержден и введен в действие приказом ПАО «ФСК ЕЭС» от 25.08.2017 № 343. – ПАО «ФСК ЕЭС», 2017. – 135 с.

3. Цифровые подстанции. Российские и зарубежные: НТД, опыт, примеры _– URL: http:// https://elensis.ru/2019/04/20/цифровые-подстанции/ (дата обращения 17.09.23)

4. Виноградов А.В. Требования к функциональным возможностям трансформаторных подстанций ТП 6…20/0,4 кВ в структуре интеллектуальных электрических сетей. / А.В. Виноградов, Н.С. Сорокин// Актуальные вопросы энергетики в АПК : матер. всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Благовещенск, 19 фев. 2020 г.). – Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2020. – 179, [1] с. - С. 143-148

5. Официальный сайт АО ГК «Системы и технологии»: [Сайт]. – URL: http://www.sicon.ru/about/group/ (дата обращения 17.09.23)

6. Официальный сайт ООО «Энтелс»: [Сайт]. – URL: http://www.entels.ru/ (дата обращения 17.09.23)

7. Официальный сайт НПО «МИР»: [Сайт]. – URL: http://mir-omsk.ru/ (дата обращения 17.09.23)

8. Официальный сайт «ОВЕН»: [Сайт]. – URL: https://owen.ru/ (дата обращения 17.09.23)

9. Патент № 2734110 Российская Федерация, МПК H02B 7/00, H02J 13/00 Цифровая трансформаторная подстанция с активно-адаптивной системой управления / Виноградов А.В., Сорокин Н.С., Виноградова А.В., Букреев А.В., Большев В.Е., Сейфуллин А. Ю., Лансберг А.А.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – Заявка 2020124076; заявлено 20.07.2020; опубл. 13.10.2020

10. Голиков, И.О. Адаптивное автоматическое регулирование напряжения в сельских электрических сетях 0,38 кВ:/Монография/ Голиков И.О., Виноградов А.В. – Орел; Изд-во ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2017. – 166 с.

11. Виноградов А.В. Способ и устройство для предотвращения обратной трансформации на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ при несанкционированной подаче напряжения в сеть 0,4 кВ/ А.В. Виноградов, А.В. Виноградова, В.Е. Большев, А.В. Букреев, А.А. Панфилов, М.В. Бородин, А.С. Бредихин, С.А. Канюс// Промышленная энергетика. 2020. №7. С. 56-62.

12. Виноградов А. В. Варианты исполнения устройств сигнализации и блокировки от обратной трансформации на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ /А. В. Виноградов, А. А. Панфилов, А. С. Бредихин, С. А. Канюс, М. В. Бородин, А. В. Виноградова, А. В. Букреев, В. Е. Большев, А. И. Псарёв, Ю. Б. Рыженков, А. А. Лансберг // Главный энергетик. – 2020. – №10. – С. 5-14

Bibliography

1. Polozheniye PAO «Rosseti» «O yedinoy tekhnicheskoy politike v elektrosetevom komplekse» Utverzhdeno Sovetom Direktorov PAO «Rosseti» (protokol ot 22.02.2017 № 252). - M.: 2017.- 196 s.

2. STO 56947007-29.240.10.248-2017 Normy tekhnologicheskogo proyektirovaniya podstantsiy peremennogo toka s vysshim napryazheniyem 35-750 kV (NTP PS) [Tekst]:

Utverzhden i vveden v deystviye prikazom PAO «FSK YEES» ot 25.08.2017 № 343. – PAO «FSK YEES», 2017. – 135 s.

3. Tsifrovyye podstantsii. Rossiyskiye i zarubezhnyye: NTD, opyt, primery – URL: http:// https://elensis.ru/2019/04/20/tsifrovyye-podstantsii/ (data obrashcheniya 17.09.23)

4. Vinogradov A.V. Trebovaniya k funktsional'nym vozmozhnostyam transformatornykh podstantsiy TP 6…20/0,4 kV v strukture intellektual'nykh elektricheskikh setey. / A.V. Vinogradov, N.S. Sorokin// Aktual'nyye voprosy energetiki v APK : mater. vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem (Blagoveshchensk, 19 fev. 2020 g.). – Blagoveshchensk: Izd-vo Dal'nevost. gos. agrar. un-ta, 2020. – 179, [1] s. - S. 143-148

5. Ofitsial'nyy sayt AO GK «Sistemy i tekhnologii»: [Sayt]. – URL: http://www.sicon.ru/about/group/ (data obrashcheniya 17.09.23)

6. Ofitsial'nyy sayt OOO «Entels»: [Sayt]. – URL: http://www.entels.ru/ (data obrashcheniya 17.09.23)

7. Ofitsial'nyy sayt NPO «MIR»: [Sayt]. – URL: http://mir-omsk.ru/ (data obrashcheniya 17.09.23)

8. Ofitsial'nyy sayt «OVEN»: [Sayt]. – URL: https://owen.ru/ (data obrashcheniya 17.09.23)

9. Patent № 2734110 Rossiyskaya Federatsiya, MPK H02B 7/00, H02J 13/00 Tsifrovaya transformatornaya podstantsiya s aktivno-adaptivnoy sistemoy upravleniya / Vinogradov A.V., Sorokin N.S., Vinogradova A.V., Bukreyev A.V., Bol'shev V.Ye., Seyfullin A. YU., Lansberg A.A.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBNU FNATS VIM. – Zayavka 2020124076; zayavleno 20.07.2020; opubl. 13.10.2020

10. Golikov, I.O. Adaptivnoye avtomaticheskoye regulirovaniye napryazheniya v sel'skikh elektricheskikh setyakh 0,38 kV:/Monografiya/ Golikov I.O., Vinogradov A.V. – Orel; Izd-vo FGBOU VO Orlovskiy GAU, 2017. – 166 s.

11. Vinogradov A.V. Sposob i ustroystvo dlya predotvrashcheniya obratnoy transformatsii na transformatornykh podstantsiyakh 10/0,4 kV pri nesanktsionirovannoy podache napryazheniya v set' 0,4 kV/ A.V. Vinogradov, A.V. Vinogradova, V.Ye. Bol'shev, A.V. Bukreyev, A.A. Panfilov, M.V. Borodin, A.S. Bredikhin, S.A. Kanyus// Promyshlennaya energetika. 2020. №7. S. 56-62.

12. Vinogradov A. V. Varianty ispolneniya ustroystv signalizatsii i blokirovki ot obratnoy transformatsii na transformatornykh podstantsiyakh 10/0,4 kV /A. V. Vinogradov, A. A. Panfilov, A. S. Bredikhin, S. A. Kanyus, M. V. Borodin, A. V. Vinogradova, A. V. Bukreyev, V. Ye. Bol'shev, A. I. Psarov, YU. B. Ryzhenkov, A. A. Lansberg // Glavnyy energetik. – 2020. – №10. – S. 5-14

А.В. Виноградов, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, профессор кафедры «Электроснабжение ФГБОУ ВО Орловского ГАУ тел. 8(920)2879024, e-mail: winaleksandr@gmail.com

Н.С. Сорокин, старший преподаватель ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, тел. 89051680833, e-mail: sorokinnc@rambler.ru

REVIEW OF AUTOMATION EQUIPMENT FOR 6-20/0.4 KV TRANSFORMER SUBSTATIONS AND BLOCK DIAGRAM OF A DIGITAL TRANSFORMER SUBSTATION

Vinogradov A.V.[1], Sorokin N.S.[2]

1 FGBNU FNATS VIM
[2] FSBEI HE Oryol State Agrarian University

Abstract. The development of digitalization and automation of rural electrical networks requires special attention to ensuring the functionality of 6-20/0.4 kV transformer substations. There are more than 475 thousand such transformer substations in the distribution network complex. Recently, a large amount of equipment has appeared to ensure observability in electrical networks of 0.4-20 kV. The article provides an overview of the equipment presented on the Russian market for automation of 6-20/0.4 kV transformer substations. The promising functions of a 6-20/0.4 kV digital transformer substation are described. It was concluded that the equipment on the market does not provide most of the functions necessary to implement a 6-20/0.4 kV digital transformer substation. A conceptual block diagram of a 6-20/0.4 kV digital transformer substation is proposed and a brief description of its operation is given.

Key words: automation and telemetry equipment, transformer substation, digital transformer substation, rural electrical networks, power supply.

Vinogradov A.V., PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Laboratory for Electricity and Heat Supply, Moscow, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5, e-mail: winaleksandr@gmail.com
N.S. Sorokin, senior lecturer, Oryol State Agrarian University, tel. 89051680833, email: sorokinnc@rambler.ru

УДК 621.317.385.001.5:712.26

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИУСАДЕБНОГО УЧАСТКА С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВА ТЭМП-3

Конкин Д.В., Виноградова А.В., Букреев А.В.

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Аннотация. *Анализ параметров электропотребления приусадебных участков, сельских жилых домов, позволяет более точно прогнозировать потребляемую такими объектами мощность, более рационально указывать присоединяемую мощность при подаче заявки на технологическое присоединение к электрическим сетям. В статье приведены отдельные результаты анализа электропотребления приусадебного участка, включая сельский жилой дом. Измерения проводились с применением таймера-электросчётчика мобильного портативного ТЭМП-3, что позволило получить мгновенные и среднеквадратичные значения напряжения, потребляемой мощности. На основе анализа результатов измерений выполнено сравнение значений фактически потребляемой и расчётной мощности объекта, выявлены искажения качества электрической энергии. Показана возможность, с применением ТЭМП-3, получать сведения о графиках работы отдельных электроприёмников, моментах времени их включения и отключения, продолжительности работы. Это может быть использовано в ходе энергетических обследований различных электропотребителей.*

Ключевые слова: *электропотребление, электропотребление приусадебного участка, таймер-электросчётчик мобильный портативный, ТЭМП-3.*

Введение.

Расчётная присоединяемая мощность для приусадебных участков составляет 15 киловатт. При этом фактически потребляемая мощность, как правило, составляет не более 3-4 кВт [1]. Согласно своду правил СП 31-106-2002 «Проектирование и строительство инженерных систем одноквартирных жилых домов» нагрузка для дома менее 60 кв. м без электрических плит должна быть не меньше 5,5 кВт, для дома с электрическими плитами — 8,8 кВт [1]. Также, следует отметить, что по данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат), в 2019 году средний годовой объем потребления электроэнергии на дачном участке составил около 5 кВт • ч/м² [2].

При расчёте электропотребления для сельских жилых домов с напольными электроплитами и электроплитами и бытовыми электроводонагревателями применяется следующая формула:

6 кВт × количество жильцов × площадь дома.

При расчёте электропотребления для вновь электрифицируемых населённых пунктов или при отсутствии сведений об электропотреблении в уже электрифицированных жилых домах используется следующая формула:

1,5 кВт × количество жильцов × площадь дома.

Для вновь электрифицируемых населённых пунктов или при отсутствии сведений об электропотреблении в уже электрифицированных жилых домах используются следующие значения:

1,8 кВт × количество жильцов × площадь дома.

Для благоустроенных квартир городов, посёлков городского типа, поселков при животноводческих комплексах, птицефабриках и тепличных комбинатах с газификацией применяются следующие значения:

4 кВт × количество жильцов × площадь дома [3].

В [4] приводятся данные, что электропотребление в сельской местности составляет порядка 46 кВт·ч/мес., или 550 кВт·ч/год на одного жителя. Таким образом, имеются различные сведения об электропотреблении, потребляемой мощности сельскими домами и приусадебными участками. При этом под приусадебным участком понимается участок земли, выделяемый в личное пользование лицам, проживающих в сельской местности и на котором также размещаются жилые и вспомогательные строения и выращиваются растения. Таким образом, по сути, речь идёт об одном и том же объекте, когда мы говорим о потреблении приусадебного участка, или сельского дома, поскольку они, как правило, имеют один ввод, один счётчик электроэнергии, учитывающий электропотребление всех электроприёмников, находящихся как в доме, так и в других строениях, находящихся на участке, электроинструмента, используемого вне строений.

В связи с ростом (с 1 июля 2022 года) стоимости технологического присоединения к электрическим сетям, которое может составлять до 10 тыс. рублей за 1 кВт, актуальной становится задача определения заявляемой (по сути – фактически потребляемой) мощности таким образом, чтобы, с одной стороны, не переплатить за подключение, а с другой – не оказаться в условиях дефицита мощности. Актуально определение фактически потребляемой мощности и для тех случаев, когда владелец участка планирует использовать возобновляемые источники энергии для электроснабжения своего приусадебного участка.

Для определения необходимой мощности участка необходимо учесть:

- тип, количество и мощность электроприёмников;
- продолжительность использования электроприёмников в течение суток.

Проведение измерений электропотребления на типовых объектах позволяет выявить продолжительность использования электроприёмников, коэффициенты одновременности их использования. В качестве устройства для проведения измерений может применяться анализатор качества электроэнергии, или таймер-электросчётчик мобильный портативный одной из модификаций, например ТЭМП, ТЭМП-3 [5].

Цель работы: исследовать электропотребление приусадебного участка с выявлением максимальной, минимальной и средней потребляемой мощности, графика нагрузки.

Материал и методы исследования.

Для определения характеристик электропотребления приусадебного участка, был выбран объект, находящийся в поселке Буйском районе Костромской области. Площадь данного участка составляет 800 кв. м. На территории расположено: жилой дом, гараж, баня, дровяник, колодец, беседка, плодовые деревья, грядки. Дом с газовой плитой и дровяным отоплением. К основным электроприёмникам объекта относятся:

- электрическое освещение, суммарная мощность до 1 кВт;
- холодильник, 0,15 кВт;
- микроволновая печь, 1,5 кВт;
- насос погружной, 0,25 кВт;
- станок точильный, 0,45 кВт;
- электрический чайник, 2 кВт;
- электрообогреватель масляный, 1,5 кВт;

- электрообогреватель воздушный, 2 кВт;
- устройство отпугивания грызунов, 0,05 кВт;
- фумигатор 0,005 кВт;
- зарядные устройства для телефонов, 4 шт. 0,02 кВт;
- ночник, 0,005 кВт;
- вентилятор, 0,2 кВт;
- ноутбук, 04 кВт.

Определение характеристик электропотребления объекта было выполнено с помощью устройства ТЭМП-3 [5,6,7], подключенным на вводе объекта за прибором учёта СОЭ-52 (рисунок 1).

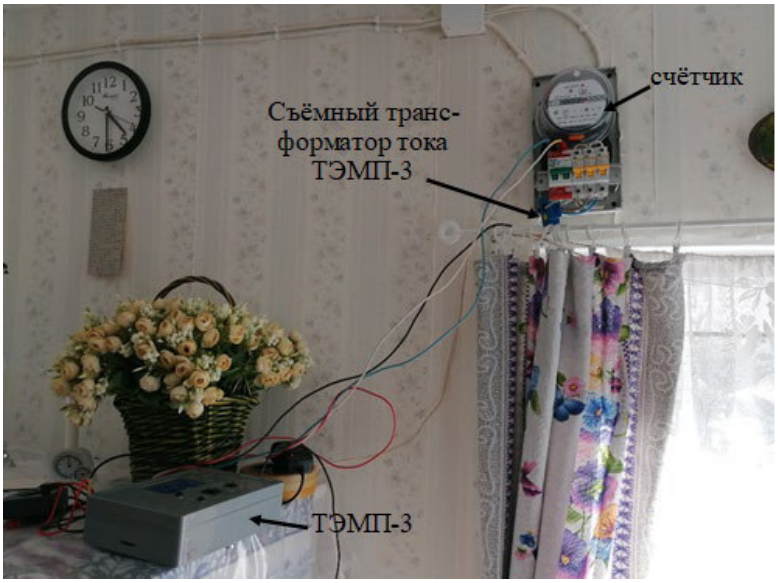


Рисунок 1 - Подключение ТЭМП-3 для снятия характеристик электропотребления приусадебного участка

Результаты и обсуждение.

В рамках исследования получены суточные графики нагрузки объекта, пример графика за 22 августа 2022 г. приведён на рисунке 2. Применение ТЭМП-3 позволило получить данные о потребляемой мощности, токе, напряжении с периодичностью раз в 2 секунды, причём устройство позволило записать с этой периодичностью как мгновенные значения, так и среднеквадратичные. Ниже, при построении графиков, использованы среднеквадратичные значения. Время по оси абсцисс указано с периодичностью примерно 30 минут.

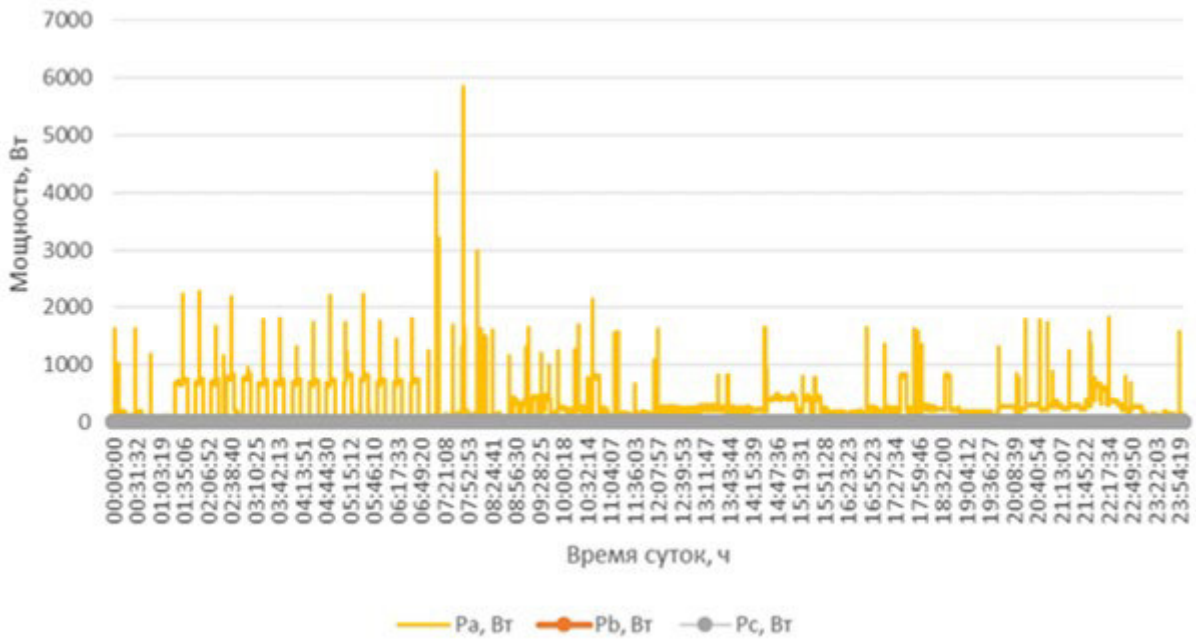


Рисунок 2 - Суточный график нагрузки за 22.08.2022

К периодам с малым потреблением мощности относится работа холодильника, фумигатора, зарядных устройств и части электрического освещения. В промежуток времени от 01:15:47 по 00:07:00 зафиксирована работа холодильника совместно с обогревателем и фумигатором, зарядными устройствами. Резкое увеличение потребления электроэнергии происходит в 07:08:52 из-за включения микроволной печи, суммарная потребляемая мощность составила 4344,14 Вт. В 07:46:18 наблюдается максимальная потребляемая мощность (5849,26 Вт) в течении суток из-за одновременной работы микроволновой печи, электрического насоса, электрического освещения и холодильника. В целом наблюдается равномерное потребление электроэнергии в течении суток с утренними пиками потребления.

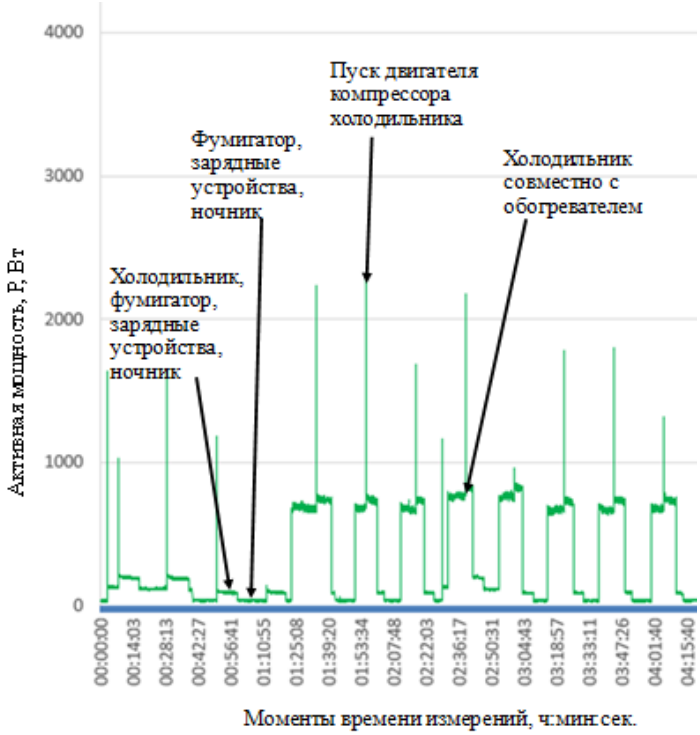


Рисунок 3 - График нагрузки в ночное время

Произведем детальный анализ графика потребляемой мощности объекта в ночное время, представленный на рисунке №3 (время с 00:00:00 до 04:15:04). Применение ТЭМП-3 позволило фактически «увидеть» моменты включения, работы и отключения различных электроприёмников.

В частности, на рисунке 3 прослеживаются совместные периоды работы холодильника, обогревателя и другой нагрузки, моменты включения, работы и отключения холодильника, обогревателя. Можно анализировать продолжительность работы различных электроприёмников, например, обогреватель включается с периодичностью 15 минут.

На рисунке 4 представлен суточный график напряжения.

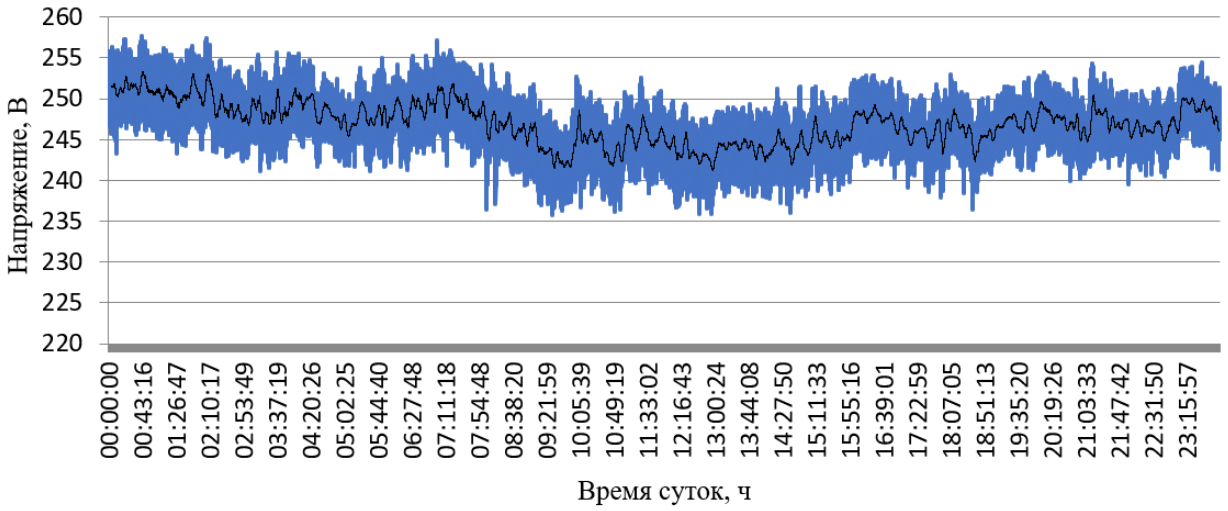


Рисунок 4 – Суточный график напряжения

Анализ графика напряжения показал, что максимальное значение напряжения составляло 257 В, оно наблюдалось в промежутке времени от 00:00 до 01:08. В течение всех суток мгновенные значения напряжения не снижались ниже 235 В, а среднеквадратичные – ниже 241 В. То есть в течение практически всех суток отклонение напряжения превышает допустимое значение +10%. Можно рекомендовать обратиться в электроснабжающую организацию, или установить стабилизатор напряжения для приведения уровня напряжения в нормативные значения.

Для определения расчетной мощности приусадебного участка обычно используется следующая формула:

$$P(Вт) = (S \cdot N): 365,$$

где М – мощность, Вт; S – площадь участка, кв м; N – количество проживающих человек; 365 – дней в году.

Получаем, что для обозреваемого дачного участка площадью 800 кв м, а также проживающих на нём 5 человек необходима следующая мощность:

$$P = (800 \cdot 5):365 = 10 \text{ кВт}$$

Рассмотрим другой вариант расчета потребляемой электрической мощности. Для этого необходимо просуммировать мощности потребителей, которые планируются к использованию (список приведён выше в статье). Далее необходимо умножить полученную сумму на коэффициент спроса, который зависит от потребляемой мощности [8].

Для рассматриваемого объекта сумма всех потребителей составляет 8,19 кВт, далее

подбираем коэффициент спроса. Коэффициенты спроса приведены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты спроса [8]

Заявленная мощность, кВт	До 14	20	30	40	50	60	70 и более
Коэффициент спроса	0,8	0,65	0,6	0,55	0,5	0,48	0,45

Получаем, $P = 8{,}19 \cdot 0{,}8 = 6{,}5$ кВт. Таким образом, расчетная мощность для потребителей данного участка составляет 6,5 кВт, что близко к измеренным. Следует отметить, что за период измерений (5 дней) максимальная зафиксированная мощность составила 6,4 кВт, что близко к расчётной.

Заключение.

В ходе исследований были выявлены основные электропотребляющие устройства, находящиеся на приусадебном участке. Были приведены и проанализированы графики нагрузок, тока и напряжения. Использование при исследовании прибора ТЭМП-3 позволило получить максимальные, минимальные значения тока, мощности, напряжения на вводе в объект. Это позволило сравнить фактически потребляемую мощность участка с расчётной, выявить превышение значений напряжения выше нормированных, выявить значения пусковых токов разных устройств, периодичности их включения, работы и выключения. Это позволяет в дальнейшем разрабатывать способы и средства управления нагрузками подобных объектов.

Список используемых источников

1. Сколько киловатт положено на участок СНТ? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://krugruk.ru/skolko-kilovatt-polozheno-na-uchastok-v-snt, свободный (Дата обращения 18.09.2023)

2. Положение – Северянин. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clck.ru/35qwqG, свободный (Дата обращения 20.09.2023)

3. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817286.htm, свободный (Дата обращения 22.09.2023)

4. Виноградов А. В. Потребление электроэнергии населением сельских районов на примере Дмитровского района Орловской области/ А. В. Виноградов, А. В. Виноградова, А. Н. Иванова// Энергия: экономика, техника, экология. -2018г. - №10. - с.38-43.

5. Букреев А. В., Виноградов А.В. Разработка технических средств обследования электрических сетей сельскохозяйственных объектов / А.В. Букреев, А.В. Виноградов // Монография. – Орёл: изд-во «Картуш», 2023. – 196 с.

6. Патент № 195905 Российская Федерация, МПК G01R 19/00. Таймер – электросчётчик портативный мобильный трёхфазный / А.В. Букреев, А.В. Виноградов; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – № 2019142010; заявл. 18.12.2019; опубл. 11.02.2020 Бюл. № 5.

7. Выявление участков ЛЭП с повышенными потерями электроэнергии с помощью мобильных портативных таймеров-электросчетчиков /Виноградов А.В., Букреев А.В., Виноградова А.В., Большев В.Е.// Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. № 3 (40). С. 31-36. DOI: 10.22314/2658-4859-2020-67-3-31-36.

8. Расчет потребляемой электрической мощности дома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eng-in.ru/zakazchiku/nazametku/590-elektroraschet, свободный (Дата обращения 12.02.2023)

Bibliography:

1. Skol'ko kilovatt polozheno na uchastok SNT? [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://krugruk.ru/skolko-kilovatt-polozheno-na-uchastok-v-snt, svobodnyy (Data obrashcheniya 18.09.2023)

2. Polozheniye – Severyanin. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://clck.ru/35qwqG, svobodnyy (Data obrashcheniya 20.09.2023)

3. Rukovodyashchiye materialy po proyektirovaniyu elektrosnabzheniya sel'skogo khozyaystva. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817286.htm, svobodnyy (Data obrashcheniya 22.09.2023)

4. Vinogradov A. V. Potrebleniye elektroenergii naseleniyem sel'skikh rayonov na primere Dmitrovskogo rayona Orlovskoy oblasti/ A. V. Vinogradov, A. V. Vinogradova, A. N. Ivanova// Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. -2018g. - №10. - s.38-43.

5. Bukreyev A. V., Vinogradov A.V. Razrabotka tekhnicheskikh sredstv obsledovaniya elektricheskikh setey sel'skokhozyaystvennykh ob"yektov / A.V. Bukreyev, A.V. Vinogradov // Monografiya. – Orol: izd-vo «Kartush», 2023. – 196 s.

6. Patent № 195905 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G01R 19/00. Taymer – elektroschotchik portativnyy mobil'nyy trokhfaznyy / A.V. Bukreyev, A.V. Vinogradov; zayavitel' i patentoobladatel' FGBNU FNATS VIM. – № 2019142010; zayavl. 18.12.2019; opubl. 11.02.2020 Byul. № 5.

7. Vyyavleniye uchastkov LEP s povyshennymi poteryami elektroenergii s pomoshch'yu mobil'nykh portativnykh taymerov-elektroschetchikov /Vinogradov A.V., Bukreyev A.V., Vinogradova A.V., Bol'shev V.Ye.// Elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v APK. 2020. № 3 (40). S. 31-36. DOI: 10.22314/2658-4859-2020-67-3-31-36.

8. Raschet potreblyayemoy elektricheskoy moshchnosti doma [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.eng-in.ru/zakazchiku/nazametku/590-elektroraschet, svobodnyy (Data obrashcheniya 12.02.2023)

Конкин Дмитрий Владимирович, магистрант 2 курса специалист лаборатории электроснабжения и теплообеспечения ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, dima.konkin.2014@mail.ru

Виноградова Алина Васильевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, e-mail: alinawin@rambler.ru

Букреев Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, e-mail: skiffdark@mail.ru

STUDY OF ELECTRIC CONSUMPTION IN A HOUSEHOLD LAND USING THE TEMP-3 DEVICE

Konkin D.V., Vinogradova A.V., Bukreev A.V.

Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"

Abstract. Analysis of the power consumption parameters of household plots and rural residential buildings makes it possible to more accurately predict the power consumed by such objects, and to more rationally indicate the connected power when submitting an application for technological connection to electrical networks. The article presents selected results of an analysis of the power consumption of a personal plot, including a rural residential building. The measurements have been carried out using a mobile portable electric timer-meter TEMP-3, which made it possible to obtain instantaneous and root-mean-square values of current, voltage, and power consumption. Based on the analysis of the measurement results, a comparison has been made of the actual consumed and calculated power of the facility, and distortions in the quality of electrical energy were identified. It has been shown that, using TEMP-3, it is possible to obtain information about the operating schedules of individual electrical receivers, the times at which they are turned on and off, and the duration of operation. This can be used during energy surveys of various electrical consumers.

Key words: power consumption, power consumption of a personal plot, mobile portable timer-electric meter, TEMP-3.

Dmitry V. Konkin, 2nd year master's student specialist of the laboratory of power supply and heat supply of the Federal State Budgetary Institution FNATS VIM, dima.konkin.2014@mail.ru

Alina V. Vinogradova, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Federal State Budgetary Institution FNATS VIM, e-mail: alinawin@rambler.ru

Aleksey V. Bukreev, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution FNATS VIM, e-mail: skiffdark@mail.ru

УДК 621.311.42:621.3.019.3

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 10/0,4 КВ ЗАМЕНОЙ ОДНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ДВА

Виноградова А.В.[1], Виноградов А.В.[1,2], Конкин Д.В.[1]

[1]ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
[2] ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

Аннотация. *Нагрузка как производственных, так и коммунально-бытовых сельских потребителей, как правило, сезонна. Поэтому в течение года силовые трансформаторы трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ загружены нерационально, что приводит к росту удельных потерь холостого хода в них. Предлагается способ сокращения потерь электроэнергии посредством замены одного трансформатора на трансформаторной подстанции на два с обеспечением сезонной работы каждого из устанавливаемых трансформаторов, и их совместной работы в сезоны с наибольшей нагрузкой. Также предусматривается резервное переключение на второй трансформатор при отказе первого. Проведена оценка влияния предлагаемого способа на надёжность электроснабжения потребителей. Показано, что замена одного трансформатора на два на трансформаторной подстанции, питаемой по одной линии 10 кВ позволяет повысить надёжность электроснабжения потребителей. Расчёт показал, что сокращение времени перерывов в электроснабжении потребителей, подключенных к подстанции и связанных с отказами её оборудования, после реализации предлагаемого способа, сокращается с 9,44 до 0,613 ч/год.*

Ключевые слова: *трансформаторная подстанция, надёжность электроснабжения, замена трансформатора, автоматизация трансформаторной подстанции.*

Введение. Сезонность электрических нагрузок сельских производственных потребителей связана с особенностями их технологических процессов. Электрическая нагрузка коммунально-бытовых сельских потребителей также часто сезонна, что чаще всего связано с ростом доли жилья в сельской местности, используемого только в летний период. Это, а также то, что до 1 июля 2022 года стоимость технологического присоединения к электрическим сетям для физических лиц была одинаковой вплоть до присоединяемой мощности 15 кВт (хотя фактически потребляемая мощность составляет, зачастую, до 5 кВт), привело к неоправданно низкому коэффициенту загрузки силовых трансформаторов на сельских трансформаторных подстанциях (ТП) 10/0,4 кВ. Например, для Орловской области, она составляет до 30%. Это приводит к неоправданно высоким удельным потерям холостого хода в трансформаторах. Ситуацию может усугублять подключение к отходящим линиям от ТП фотоэлектрических установок, как это показано в [1].

Одним из решений, направленных на их сокращение является замена одного трансформатора на трансформаторной подстанции, питаемой по одной линии 10 кВ на два с обеспечением сезонной работы каждого из устанавливаемых трансформаторов, и их совместной работы в сезоны с наибольшей нагрузкой.

В частности, решения по снижению потерь электроэнергии на двухтрансформаторных подстанциях предложены в работах [2] и [3]. В первой работе оценивается условие, при

котором выгодно отключение одного из трансформаторов на двухтрансформаторных подстанциях при малых сезонных нагрузках. Отключение предполагается выполнять вручную [2].

Во второй работе предложен способ автоматического отключения одного из трансформаторов двухтрансформаторной подстанции и разработана модель управления трансформаторами [3].

В указанных работах не проведён анализ влияния замены одного трансформатора на два с точки зрения надёжности электроснабжения потребителей.

Целью исследования является изучение влияния применения двух трансформаторов, питающих сезонную нагрузку и соответствующего оборудования коммутации и управления на надёжность электроснабжения потребителей.

Материалы и методы исследования. Авторами предлагается способ сокращения потерь электроэнергии в трансформаторной подстанции и повышения надёжности электроснабжения потребителей посредством замены одного трансформатора на ТП на два. Особенности предлагаемого метода заключаются в следующем.

На ТП, питающейся по одной линии, устанавливают вместо одного два трансформатора. Мощность трансформаторов может быть одинаковой или разной. Задают и отсчитывают интервалы времени сезонной работы каждого из трансформаторов и их совместной работы. Включают соответствующие трансформаторы в работу в зависимости от отсчитываемого интервала времени. Если во время работы одного из трансформаторов потребляемая мощность начинает превышать мощность данного трансформатора, то автоматически включают на параллельную работу второй трансформатор. Если во время работы одного из трансформаторов происходит его отказ, то автоматически отключают данный трансформатор и включают в работу второй. Также выполняют мониторинг режимов работы ТП.

На рисунке 1 показана схема реализации способа.

Схема на рисунке 1 содержит: Т1, Т2 – силовые трансформаторы, Л3 – питающая линия; Л4 – отходящая линия; ШВН5 - шины высокого напряжения; ШНН6 – шины низкого напряжения; УКА7, УКА8 – управляемые коммутационные аппараты высокого напряжения (например, вакуумные выключатели); УКА9, УКА10 – управляемые коммутационные аппараты низкого напряжения (например, вакуумные контакторы); КА11 – коммутационный аппарат отходящей линии (автоматический выключатель); НТП12 – нагрузка трансформаторной подстанции; ФЭУ13 – фотоэлектрическая установка; ДНТП14 – датчик нагрузки трансформаторной подстанции; БОИиУ15 - блок обработки информации и управления; УППД16 – устройство приёма и передачи данных; КА17, КА18 – коммутационные аппараты низкого напряжения (рубильники).

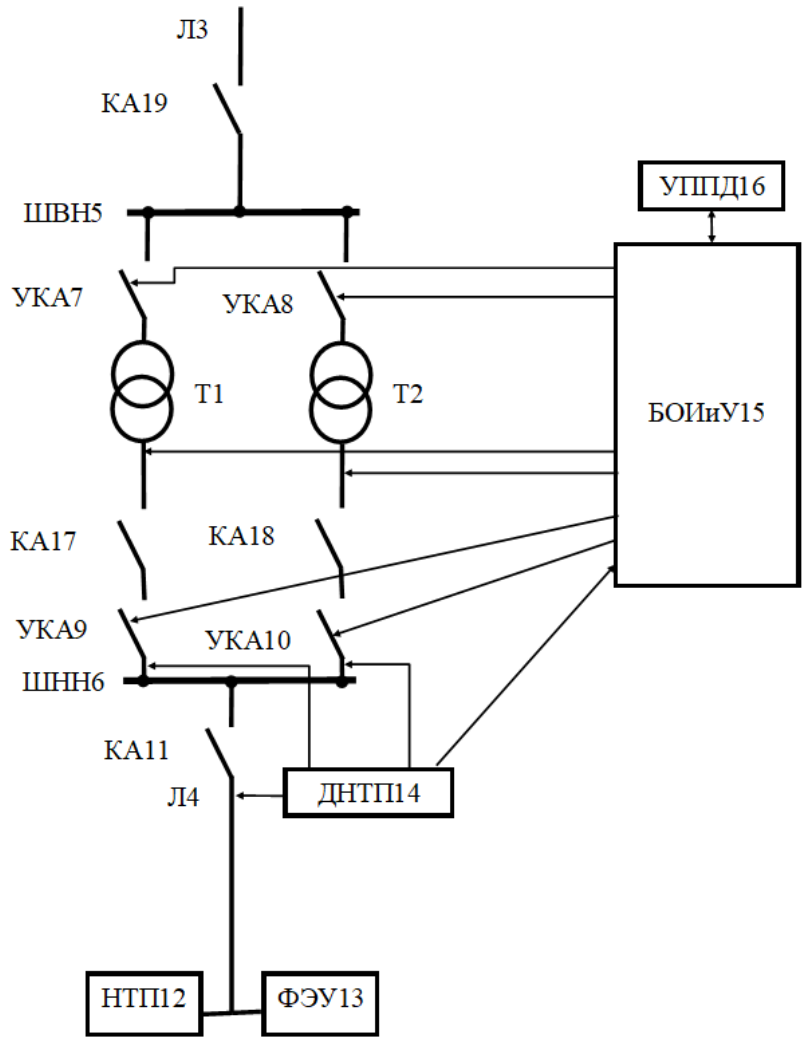


Рисунок 1 – Структурная схема реализации предлагаемого способа

Сравнение надёжности представленной на рисунке 1 схемы производится с двумя другими вариантами – схемами автоматизированной и неавтоматизированной ТП 10/0,4 кВ.

На рисунке 2а представлен вариант однотрансформаторной ТП, не оснащённой средствами автоматического управления. В качестве коммутационного аппарата на стороне высокого напряжения (ВН) применяется разъединитель КА7, на стороне низкого напряжения – рубильник КА9 и автоматический выключатель КА14 на вводе и автоматический выключатель КА11 на отходящей линии.

На рисунке 2б представлен вариант однотрансформаторной ТП, оснащённой средствами автоматического управления. В качестве коммутационных аппаратов на стороне ВН применяется разъединитель КА18 и вакуумный выключатель УКА7, на стороне низкого напряжения – рубильник КА17 и вакуумный контактор УКА9 на вводе, а также автоматический выключатель КА11 на отходящей линии. Также схема на рисунке 2б оснащена блоком обработки информации и управления БОИиУ15, датчиком нагрузки трансформаторной подстанции ДНТП14, устройством приёма и передачи данных УППД16. Блок БОИиУ15 осуществляет сбор данных и управление управляемыми коммутационными аппаратами УКА7 и УКА9.

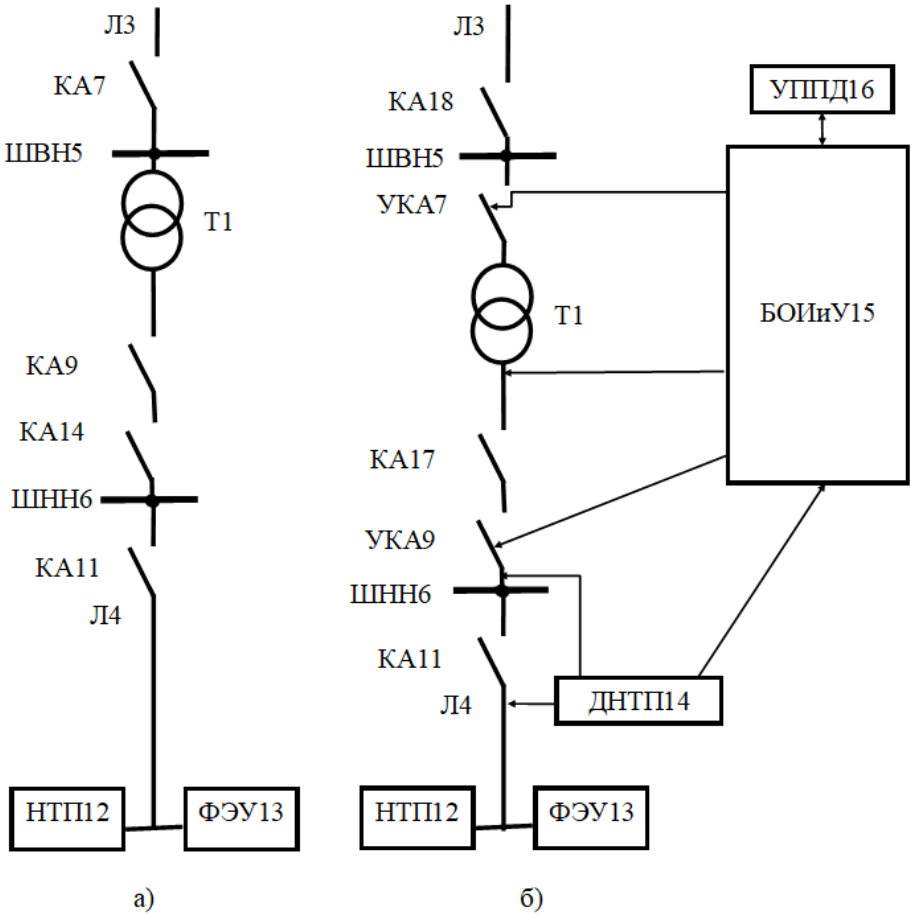


Рисунок 4: а – Схема однотрансформаторной ТП 10/0,4 кВ без автоматизации;
б – Схема однотрансформаторной ТП 10/0,4 кВ с автоматизацией.

Определение надёжности каждой из схем требует определения показателей надёжности каждого из элементов схемы. Они могут быть определены из статистики для рассматриваемых электрических сетей, по литературным источникам, например, [4-7], или по нормативным документам, в частности [8].

В таблице 1 показаны справочные значения показателей надёжности используемого на схемах основного оборудования. Часть данных взята по [8], например, параметр потока отказов для силовых трансформаторов 10/0,4 кВ, данные для разъединителей, шин. Показатели низковольтных коммутационных аппаратов взяты по [7].

Показатели надёжности микроконтроллерных блоков управления (МБУ) зависят от типа использованного микроконтроллера, других элементов блока. В нашем расчёте показатели надёжности МБУ приняты по источнику [8] и приняты одинаковыми для схем на рисунках 1 и 2б. Показатели надёжности вакуумных выключателей 10 кВ – приняты по [5].

Таблица 1 - Данные для расчёта надёжности схем, представленных на рисунках 1 и 2

№ п/п	Вид электро-оборудования	Параметр потока отказов, ω_{0i}, год$^{-1}$	Время восстановления, T_B, ч	Параметр потока плановых отключений, m_{0i}, год$^{-1}$	Продолжительность плановых отключений, ч
1	Силовой трансформатор	0,016	50	0,25	6
2	Вакуумный выключатель	0,004	8	0,004	15
3	Разъединитель	0,01	7	0,166	3,7
4	Рубильник	0,038	7	0,166	3,7
5	Автоматический выключатель	0,05	4	0,33	10
6	ШВН	0,03	7	0,166	5
7	ШНН	0,03	7	0,166	5
8	БОИиУ	0,000114	4	0,33	0,5
9	Контактор вакуумный	0,04	4	0,04	0,5

Далее определялось расчётное количество часов аварийных перерывов в электроснабжении, связанных с отказами каждого вида оборудования, $T_{\text{пер ав обі}}$, ч/год по методу, показанному в [9], но для единицы оборудования:

$$T_{\text{пер ав обі}} = T_{\text{В}cpi} \cdot \omega_{0\text{i}} \cdot n_{\text{i}}, \quad (1)$$

где n_{i}– количество оборудования, шт.; $\omega_{0\text{i}}$ – параметр потока отказов на 1 шт. оборудования, год$^{-1}$; $T_{\text{В}cp\text{i}}$ – среднее время восстановления, ч.

Определялись вероятности безотказной работы (ВБР) оборудования $P_{(\text{обі})}$, безразм.:

$$P_{(\text{обі})} = \frac{8760 - \text{Тпер ав обі}}{8760}, \quad (2)$$

где 8760 – число часов в году, ч/год.

Затем выполнялся расчёт ВБР всей рассматриваемой схемы ТП. Для этого строилась соответствующая схема замещения, на которой указывается ВБР каждого оборудования. Схемы замещения показаны на рисунках 3а-3г. Схемы замещения упрощались путём приведения последовательно и параллельно соединённых участков сети к одному элементу, как показано в [9, 10]. Расчёт проводился для всех трёх вариантов схем ТП.

ВБР последовательно соединённых участков, $P_{\text{посл}}$, определяется:

$$P_{посл} = \prod_{i=1}^{nпосл} P_{(обі)}, \quad (3)$$

где $n_{\text{посл}}$ – число последовательно соединённых участков сети в рассматриваемой цепи; $P_{(безотк\ ав\ обі)}$ – ВБР i-го оборудования.

Для параллельных участков ВБР, $P_{пар}$, определяется, для количества параллельных участков $n_{\text{пар}}$, шт. [9, 10]:

$$P_{пар} = 1 - \prod_{i=0}^{nпар} (1 - P_{(обі)}). \quad (4)$$

Постепенно схема замещения сокращается до 1 элемента, для которого определяется ВБР, являющаяся ВБР всей схемы по отношению к рассматриваемому участку, $P_{(\text{безотк ав сі})}$, безразм.

По полученным ВБР для разных схем определялись значения вероятного времени аварийных перерывов в работе ТП.

$$Тпер\ ав\ сi\ = 8760 - 8760 \cdot P_{(сiав)}, \quad (5)$$

где $P_{(сiав)}$– ВБР всей рассматриваемой схемы с учётом последовательных и параллельных цепей (полученная после упрощения схемы замещения).

Определялось расчётное количество часов плановых отключений оборудования ТП, $T_{пер\ пл\ обi}$, ч/год.:

$$T_{пер\ пл\ обi} = T_{ПЛср i} \cdot m_{0i} \cdot n_i, \quad (6)$$

где m_{0i} – параметр потока плановых отключений на 1 шт. оборудования, год$^{-1}$; $\mathbf{T_{ПЛ ср i}}$ – среднее время плановых отключений, ч.

Следующим шагом является определение вероятности безотказной работы оборудования ТП по плановым отключениям (ВБРпл), $P_{(обiпл)}$, безразм:

$$P_{(обiпл)} = \frac{8760 - Тпер\ пл\ обi}{8760}. \quad (7)$$

Далее, аналогично расчёту ВБР по аварийным отключениям, рассчитывается ВБР по плановым (преднамеренным) отключениям ТП ($P_{(сiпл)}$). Для этого строится схема замещения ТП, на которой указывается ВБР по аварийным и плановым отключениям оборудования.

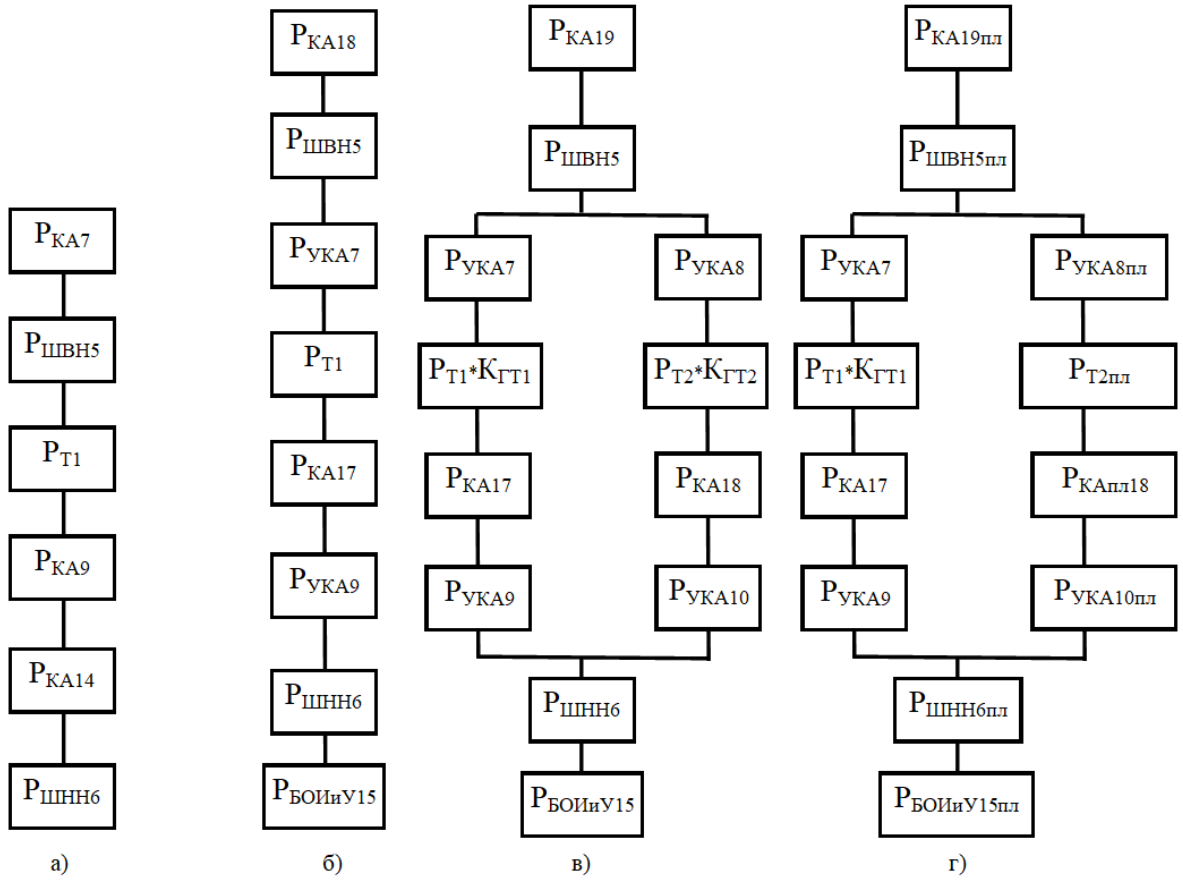


Рисунок 3: а – Схема замещения однотрансформаторной ТП 10/0,4 кВ без автоматизации; б – Схема замещения однотрансформаторной ТП 10/0,4 кВ с автоматизацией; в - Схема замещения двухтрансформаторной ТП 10/0,4 кВ с автоматизацией для расчёта ВБР; г - Схема замещения двухтрансформаторной ТП 10/0,4 кВ с автоматизацией для расчёта ВБРпл

Расчёт проводится с учётом следующего положения: во время ремонта, или обслуживания одной из цепей ТП, вторая (резервная) в плановый ремонт не выводится. Поэтому при расчётах резервирующих цепей учитывают ВБРпл одной цепи и ВБР второй, то есть определяют вероятность возникновения аварийного отключения в резервной цепи во время планового ремонта первой. Таким методом рассчитывалась схема замещения (рисунок 3г) варианта схемы ТП, показанного на рисунке 1.

Определяются значения вероятного времени плановых перерывов ТП:

$$\text{Тпер пл с}i = 8760 - 8760 \cdot P_{(\text{сіпл})}, \quad (8)$$

Наиболее надёжный вариант определялся по минимальным значениям суммарного времени аварийных и плановых перерывов в работе ТП.

На рисунке 3: $P_{КАn}$- ВБР соответствующих коммутационных аппаратов; $P_{ШВН}$ – ВБР шин высокого напряжения; $P_{ШНН}$ – ВБР шин низкого напряжения; $P_{УКАn}$- ВБР соответствующих управляемых коммутационных аппаратов; P_{Tn}- ВБР соответствующих силовых трансформаторов; $P_{БОИиУ}$- ВБР блока обработки информации и управления; $P_{КАnпл}$- ВБРпл соответствующих коммутационных аппаратов; $P_{УКАnпл}$- ВБРпл соответствующих управляемых коммутационных аппаратов; $P_{Tnпл}$- ВБРпл соответствующих силовых трансформаторов.

Схемы замещения для расчёта ВБРпл схем, показанных на рисунках 2а и 2б аналогичны схемам, изображённым на схемах 3а и 3б за исключением того, что на них изображаются ВБРпл для каждого оборудования. Поэтому их не приводим.

Результаты и их обсуждение.

В таблице 2 приведены результаты расчёта основных показателей надёжности для оборудования схемы, показанной на рисунке 2а (схема замещения на рисунке 3а). При расчёте учитывалось, что все элементы схемы замещения соединены последовательно.

Таблица 2 - Результаты расчёта основных показателей надёжности для оборудования схемы, показанной на рисунке 2а

№п/п	Вид оборудо-вания	$T_{пер\ ав\ обі}$, ч/год	$P_{(обі)}$	$T_{пер\ пл\ обі}$, ч/год	$P_{(обіпл)}$
1	КА7	0,07	0,999992	0,614	0,99993
2	ШВН	0,21	0,99997	0,83	0,99991
3	Т1	0,8	0,99990	1,5	0,99982
4	КА9	0,26	0,99997	0,614	0,99993
5	КА14	0,2	0,99998	3,3	0,99962
6	ШНН	0,21	0,99997	0,83	0,99991
		Тпер ав с*i* =1,75	$P_{(сіав)}$=0,99978	$T_{пер\ пл\ сі}$=7,69	$P_{(сіпл)}$ = 0,99912

Суммарное время перерывов в год составляет 1,75+7,69 = 9,44 ч/год.

В таблице 3 приведены результаты расчёта основных показателей надёжности для оборудования схемы, показанной на рисунке 2б (схема замещения на рисунке 3б). При расчёте также учитывалось, что все элементы схемы замещения соединены последовательно. То есть при выходе любого из них происходит отказ всей ТП.

Таблица 3 - Результаты расчёта основных показателей надёжности для оборудования схемы, показанной на рисунке 2б (схема замещения на рисунке 3б)

№п/п	Вид оборудования	$T_{пер\ ав\ обі}$, ч/год	$P_{(обі)}$	$T_{пер\ пл\ обі}$, ч/год	$P_{(обіпл)}$
1	КА18	0,07	0,999992	0,614	0,99993
	ШВН	0,21	0,99997	0,83	0,99991
2	УКА7	0,32	0,99996	0,6	0,99993
3	Т1	0,8	0,99990	1,5	0,99982
4	КА17	0,26	0,99997	0,614	0,99993
5	УКА9	0,16	0,99998	0,02	0,99999
6	ШНН	0,21	0,99997	0,83	0,99991
7	БОИиУ15	0,00056	0,9999999	0,165	0,99998
		Тпер ав *сі* =2,26	$P_{(сіав)}$ =0,99974	$T_{пер\ пл\ сі}$ ==5,25	$P_{(обіпл)}$ = 0,9994

Суммарное время перерывов в год составляет 2,26+5,25 = 7,51 ч/год.

В таблице 4 приведены результаты расчёта основных показателей надёжности для оборудования схемы, показанной на рисунке 1 (схемы замещения на рисунках 3в и 3г).

Таблица 4 - Результаты расчёта основных показателей надёжности для оборудования схемы, показанной на рисунке 1 (схемы замещения на рисунках 3в и 3г)

Вид оборудования	$T_{пер\ ав\ обі}$, ч/год	$P_{(обі)}$	$P_{(ці)}$	$T_{пер\ пл\ обі}$, ч/год	$P_{(обіпл)}$	$P_{(ціпл)}$
Последовательная цепь Т1						
УКА7	0,32	0,99996	0,99981	0,6	0,99993	0,99967
Т1	0,8	0,99990		1,5	0,99982	
КА17	0,26	0,99997		0,614	0,99993	
УКА9	0,16	0,99998		0,02	0,99999	
Последовательная цепь Т2						
УКА8	0,32	0,99996	0,99981	0,6	0,99993	0,99967
Т2	0,8	0,99990		1,5	0,99982	
КА18	0,26	0,99997		0,614	0,99993	
УКА10	0,16	0,99998		0,02	0,99999	
Параллельная цепь Т1 и Т2 (расчёт ВБР)						
0,99999996						
Параллельная цепь Т1 и Т2 (расчёт ВБРпл)						
0,99999994						
Общая последовательная цепь						
КА19	0,07	0,999992	0,99993	0,614	0,99993	0,99973
ШВН	0,21	0,99997		0,83	0,99991	
ШНН	0,21	0,99997		0,83	0,99991	
БОИиУ15	0,00056	0,9999999		0,165	0,99998	
Общие показатели схемы для расчёта ВБР						
Тпер ав *сі* = 0,613 ч/год; $P_{(сі)}$ = 0,99993						
Общие показатели схемы для расчёта ВБРпл						
$T_{пер\ пл\ сі}$=0,000000000027 ч/год; $P_{(сіпл)}$ =0,999999999999997						

Суммарное время перерывов в год составляет 0,613+0,000000000027 = 0,613 ч/год. Данный расчёт выполнен для случая, когда значения коэффициентов готовности трансформаторов Т1 и Т2 составляют 1. Значения данных коэффициентов ($K_{ГТ1}$ и $K_{ГТ2}$) зависят от сезонности потребления электроэнергии потребителями, подключенными к ТП, а также выработки электроэнергии ФЭУ, подключенной к линии, питаемой от ТП.

Рассчитать значение $K_{ГТ1}$ можно следующим образом:

$$K_{ГТ1} = \frac{T_1}{8760}, \quad (9)$$

где T_1 – время в течение года, в которое мощность трансформатора Т1 с учётом допустимой перегрузки превышает потребляемую от ТП мощность.

Соответственно, $K_{ГТ2}$:

$$K_{ГТ2} = \frac{T_2}{8760}, \quad (10)$$

где T_2 – время в течение года, в которое мощность трансформатора Т2 с учётом допустимой перегрузки превышает потребляемую от ТП мощность.

Зная графики нагрузки ТП в течение года и мощности Т1 и Т2, вычислив коэффициенты готовности данных трансформаторов, можно по приведённой выше методике пересчитать показатели надёжности схемы ТП, приведённой на рисунке 1.

Выводы.

Замена одного трансформатора на два на ТП, питаемых по одной линии 10 кВ позволяет не только сократить удельные потери электроэнергии в трансформаторах, но и повысить надёжность электроснабжения потребителей. Выполненный расчёт показал, что сокращение времени перерывов в электроснабжении потребителей, подключенных к ТП и связанных с отказами оборудования ТП, после реализации предлагаемого способа, сокращается с 9,44 до 0,613 ч/год при условии, что каждый из установленных трансформаторов способен нести всю нагрузку ТП (с учётом допустимой перегрузки).

Далее планируется проведение исследования сезонности нагрузок с целью определения рациональных мощностей трансформаторов, определения надёжности ТП с учётом значений коэффициентов готовности трансформаторов.

Список использованных источников:

1. Виноградов А.В., Виноградова А.В., Конкин Д.В. Аспекты влияния фотоэлектрических станций на работу сельских электрических сетей. //Агротехника и энергообеспечение. 2023. №2(39). С. 5-13.

2. Хорольский В. Я. и др. Организационные мероприятия по снижению технических потерь электроэнергии в сельских электрических сетях //Энергетическая безопасность. – 2017. – С. 199-206.

3. Zeynep Kaya, Nazım İmal, Oğuz Gıkhasan On power transformers energy efficiency based load transfer analysis. International Journal of Energy Applications and Technologies 5(3) [2018] 115-118.

4. Энергосистема Орловской области: обзор статистической информации / А.В. Виноградова, А.А. Лансберг, А.В. Виноградов. Под ред. д.т.н. Виноградова А.В. // Монография. – Орёл: изд-во «Картуш», 2023. – 360 с.

5. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ ПРИМЕНЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ. Электронный ресурс. Заголовок с экрана. Режим доступа: Назарычев А.Н. "АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ ПРИМЕНЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ" (bester54.ru)

6. Васильев А.Н. Анализ количества и причин отключений в электрических сетях 0,38…10 кВ / А. Н. Васильев, А. В. Виноградов, А. В. Виноградова, В. Е. Большев, И. Д. Скитёва// Инновации в сельском хозяйстве. – №4(29). – 2018. – с. 8-18.

7. Федотов А.И., Грачева Е.И., Наумов О.В. Исследования показателей безотказности низковольтных коммутационных аппаратов электрических сетей. / Проблемы энергетики. 2013, № 9-10. С.73-80.

8. 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

9. Виноградов А.В. Принципы управления конфигурацией сельских электрических сетей и технические средства их реализации. Монография. — Орёл: изд-во «Картуш», 2022. — 392 с.

10. Папков, Б. В. Вероятностные и статистические методы оценки надёжности элементов и систем электроэнергетики: теория, примеры, задачи: учеб. пособие / Б. В. Папков, В. Л. Осокин. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 424 с.

References:

1. Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Konkin D.V. Aspekty vliyaniya fotoelektricheskih stancij na rabotu sel'skih elektricheskih setej. //Agrotekhnika i energoobespechenie. 2023. №2(39). S. 5-13.

2. Horol'skij V. YA. i dr. Organizacionnye meropriyatiya po snizheniyu tekhnicheskih poter' elektroenergii v sel'skih elektricheskih setyah //Energeticheskaya bezopasnost'. – 2017. – S. 199-206.

3. Zeynep Kaya, Nazım İmal, Oğuz Gckhasan On power transformers energy efficiency based load transfer analysis. International Journal of Energy Applications and Technologies 5(3) [2018] 115-118.

4. Energosistema Orlovskoj oblasti: obzor statisticheskoj informacii / A.V. Vinogradova, A.A. Lansberg, A.V. Vinogradov. Pod red. d.t.n. Vinogradova A.V. // Monografiya. – Oryol: izd-vo «Kartush», 2023. – 360 s.

5. ANALIZ OSNOVNYH PREIMUSHCHESTV PRIMENENIYA VAKUUMNYH VYKLYUCHATELEJ. Elektronnyj resurs. Zagolovok s ekrana. Rezhim dostupa: Nazarychev A.N. "ANALIZ OSNOVNYH PREIMUSHCHESTV PRIMENENIYA VAKUUMNYH VYKLYUCHATELEJ" (bester54.ru)

6. Vasil'ev A.N. Analiz kolichestva i prichin otklyuchenij v elektricheskih setyah 0,38…10 kV / A. N. Vasil'ev, A. V. Vinogradov, A. V. Vinogradova, V. E. Bol'shev, I. D. Skityova// Innovacii v sel'skom hozyajstve. – №4(29). – 2018. – s. 8-18.

7. Fedotov A.I., Gracheva E.I., Naumov O.V. Issledovaniya pokazatelej bezotkaznosti nizkovol'tnyh kommutacionnyh apparatov elektricheskih setej. / Problemy energetiki. 2013, № 9-10. S.73-80.

8. RD 34.20.574 Ukazaniya po primeneniyu pokazatelej nadezhnosti elementov energosistem i raboty energoblokov s paroturbinnymi ustanovkami. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817220.htm

9. Vinogradov A.V. Principy upravleniya konfiguraciej sel'skih elektricheskih setej i tekhnicheskie sredstva ih realizacii. Monografiya. — Oryol: izd-vo «Kartush», 2022. — 392 s.

10. Papkov, B. V. Veroyatnostnye i statisticheskie metody ocenki nadyozhnosti elementov i sistem elektroenergetiki: teoriya, primery, zadachi: ucheb. posobie / B. V. Papkov, V. L. Osokin. – Staryj Oskol: TNT, 2017. – 424 s.

А.В. Виноградов, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, профессор кафедры «Электроснабжение ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, тел. 8(920)2879024, e-mail: winaleksandr@gmail.com
А.В. Виноградова, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, тел. 8(920)8079424, e-mail: alinawin@rambler.ru
Д.В. Конкин, магистрант, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, тел. 89004865055, e-mail: dima.konkin.2014@mail.ru

IMPROVING THE RELIABILITY OF TRANSFORMER SUBSTATIONS 10/0.4 KV BY REPLACING ONE TRANSFORMER WITH TWO

Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Konkin D.V.

FGBNU FNATS VIM

Abstract. The load of both industrial and household rural consumers is, as a rule, seasonal. Therefore, during the year, power transformers of transformer substations 10/0.4 kV are loaded irrationally, which leads to an increase in specific no-load losses in them. A method is proposed to reduce electricity losses by replacing one transformer at a transformer substation with two, ensuring seasonal operation of each of the installed transformers, and their joint operation during seasons with the highest load. It also provides for backup switching to the second transformer in case of failure of the first one. The impact of the proposed method on the reliability of power supply to consumers has been assessed. It is shown that the replacement of one transformer by two at a transformer substation fed by a single 10 kV line makes it possible to increase the reliability of power supply to consumers. The calculation shows that the reduction in the time of interruptions in the power supply of consumers connected to the substation and associated with failures of its equipment, after the implementation of the proposed method, is reduced from 9.44 to 0.613 h/year.

Key words: transformer substation, power supply reliability, transformer replacement, transformer substation automation.

Vinogradov A.V., PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Laboratory for Electricity and Heat Supply, Moscow, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5, e-mail: winaleksandr@gmail.com
Vinogradova A.V., Ph.D., Leading Researcher, Laboratory of Electricity and Heat Supply, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, alinawin@rambler.ru
Konkin D.V., Master of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, dima.konkin.2014@mail.ru

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 681.51:621.798.151:635.21:621.869.82

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УКЛАДКИ МЕШКОВ С КАРТОФЕЛЕМ НА ПОДДОНЫ

Белякова Е. С., Фирсов А. С., Соколов С. А., Михайличенко В. А.

ФГБОУ ВО Тверская ГСХА

Аннотация. *Автоматизация процесса упаковки и перемещения тары является одним из главных вопросов производства. Реализация автоматизированного процесса упаковки на предприятиях позволяет повысить количество реализуемой продукции с минимальными затратами и заключается в расширении функциональных возможностей малых ферм, возделывающих картофель, используя роботизированную линию упаковки и транспортировки урожая. (Цель исследования) Разработать конструкцию робота для укладки мешков с картофелем на поддоны. (Материалы и методы) В качестве примеров были рассмотрены существующие конструкции роботов укладчиков. Исследовали прочностные свойства конструкции робота на предполагаемую нагрузку, подобраны необходимые материалы и комплектующие для изготовления рамы робота. (Результаты и обсуждение) Произведены необходимые расчеты и смоделирована конструкция робота укладчика. (Выводы) Установлено, что за счет внедрения автоматизированного робота на линии упаковки картофеля годовая экономия денежных средств составит 80% от исходно рассматриваемой технологии.*

Ключевые слова: *автоматизация, процесс упаковки, надежность, возделывание картофеля, пневмосистема, модернизация, контроль.*

Введение. В мировом сельском хозяйстве картофель занимает одно из первых мест наряду с рисом, пшеницей и кукурузой. Время хранения и спелости продукта до реализации на рынке зависит от производительности предприятия [9]. Реализация автоматизированной укладки мешков с картофелем на поддоны в предприятиях позволит увеличить производительность предприятий, а так же снизить затраты на фонд оплаты труда.

Материалы и методы исследования. При разработке и проектировании автоматизированного робота укладчика на первом этапе рассмотрены основные характеристики и параметры его работы [1]. Для привода автоматизированного конвейера рассчитываем его основные кинематические параметры.

Определяем требуемую мощность на выходном валу, Рвых , кВт:

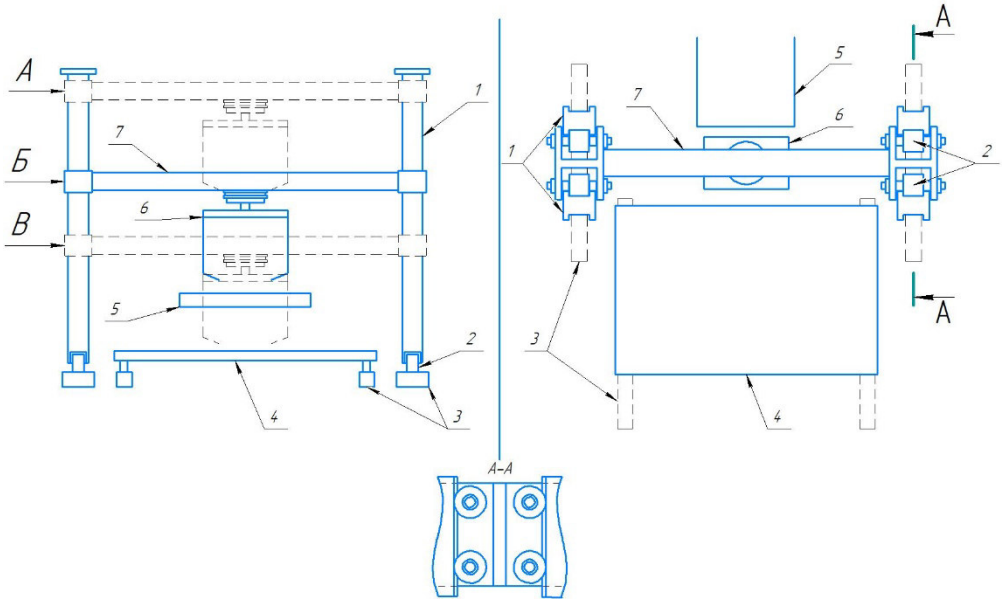
$$P_{вых} = P_{дв} \cdot \eta_{общ}, \quad (1)$$

$$\eta_{общ} = \eta_{рем} \cdot \eta_{зуб} \cdot \eta_{пк}^{2} \cdot \eta_{м} \cdot \eta_{пк}^{2}, \quad (2)$$

где $P_{дв}$ – мощность двигателя; η_i — КПД каждой кинематической пары,

Для привода конвейера выбран двигатель на 0,12 кВт. Требуемая мощность составляет 0,103 кВт

Описание работы и устройства робота укладчика. Автоматический робот укладчик предназначен для укладки мешков картофеля на поддон (коробов). На рисунке 1 представлена схема технологического процесса фасовки картофеля.



1 – стойка вертикального хода; 2 – направляющие ролики; 3 – рельс; 4 – платформа для поддона; 5 – подающий конвейер; 6 – захват тары;
7 – балка вертикального хода; А – начальное положение робота;
Б – положение захвата мешка; В – положение укладки мешка на поддон
Рисунок 1 – Схема технологического процесса фасовки картофеля

Робот имеет 4 степени свободы: продольное перемещение по оси X, поперечное перемещение по оси Y, вертикальное перемещение по оси Z, вращательное движение захвата. За счет мощной конструкции из балок, робот может перемещать тяжелую тару до 200 кг.

Процесс укладки происходит следующим образом: робот имеет программу с произведением циклов работы. Каждый цикл движения соответствует положению тары на поддоне [2,8]. Подающий конвейер перемещает тару к роботу. Робот, считав с помощью датчика наличие тары, начинает работу цикла укладки:

1 - робот подходит к таре с начальной точки с раздвинутыми захватами;

2 – пневматический механизм приподнимает тару и захваты сжимаются;

3 – робот перемещает тару на поддон в нужное положение;

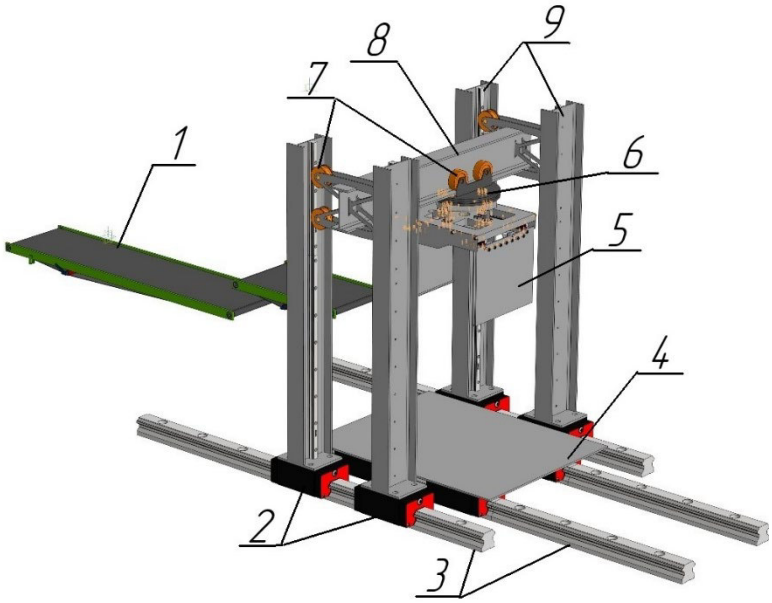
4 – захваты разжимаются;

5 – робот приходит в начальное положение.

Если цикл отрабатывает без ошибки, и робот вернулся в начальное положение, то начинается повторение цикла, но с изменением положения тары на поддоне.

Рабочее давление пневмосистемы захвата, скорости вращения электродвигателей робота в процессе работы фиксированы. Изменение данных параметров возможно лишь при остановке цикла укладки, и после установки должна провестись проверка работоспособности.

Расчеты. Проведя анализ существующих конструкций и предварительных расчетов, разработана твердотельная модель балочного робота укладчика [3,4] (рисунок 2)



1 – подающий конвейер; 2 – направляющие каретки; 3 – рельсы; 4 – платформа для поддона; 5 – захват; 6 – редуктор захвата; 7 – направляющие ролики; 8 – подвижная балка; 9 – вертикальные стойки.

Рисунок 2 – Балочный робот укладчик

Каркас робота изготовлен из металлопроката «Двутавр», 4 вертикальные стойки и одна поперечная подвижная балка. Основная нагрузка в процессе работы приходится на поперечную балку робота.

На балке закреплен подвижный захват. За перемещение захвата по оси Y отвечают ролики, закрепленные на редукторе захвата. Основная нагрузка в процессе работы приходится на поперечную балку робота. Для обоснования прочности робота произведен расчет балки на изгиб [5,6,7], по исходным данным: двутавр сортамент 18Б2, длина балки L = 1248 мм, прилагаемая нагрузка на балку P = 722,26 Н. Полученные данные занесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Характеристики поперечной балки сортамента 18Б2

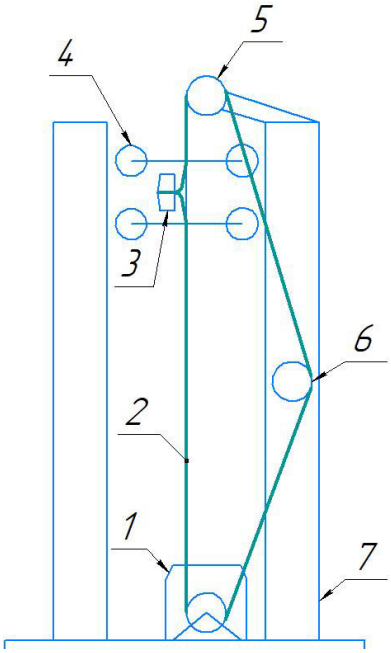
Показатель	Значение	
	Допустимые	Расчетные
Нормальные напряжения σ, МПа	197	16,20
Касательные напряжения τ, МПа	114,3	2,98
Коэффициент устойчивости стенки	2,5	0,96
Коэффициент устойчивости полки	16,17	5,36
Запас прочности по σ, %	1116	
Запас прочности по τ, %	3734,2	

Данные таблицы характеризуют о прочности и безопасности конструкции робота, при работе с тарой, масса которой не превышает 30 кг.

Стойки перемещаются линейно по оси X благодаря рельсам и кареткам.

Поперечная балка перемещается по оси Z вдоль вертикальных стоек благодаря системе из 4х рельс и 8 роликов.

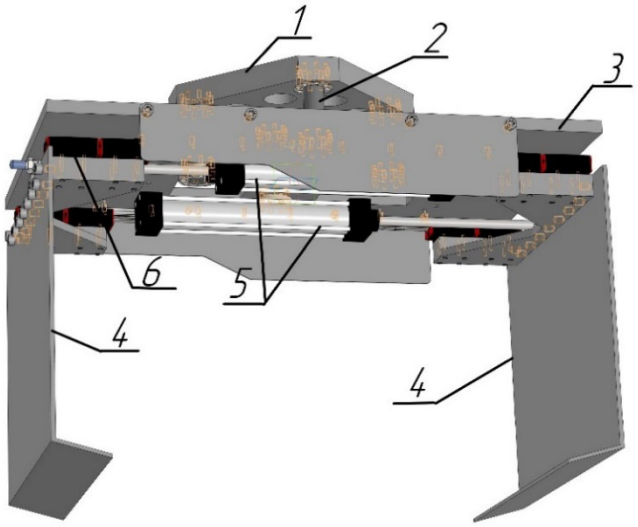
Движение робота вдоль осей X, Z, Y осуществляется с помощью зубчато-ременного привода: подвижный механизм закреплен между концами ремня, ремень натягивается между натяжителем и шкивом ЭД. При вращении вала ЭД ремень начнет перемещать механизм. Схема привода для перемещения поперечной балки аналогична приводам для перемещения захвата по оси Y и стоек по оси X. Схема представлена на рисунке 3.



1 – Электродвигатель с ведущим шкивом; 2 – ремень; 3 – зажимы для крепления механизма на ремне; 4 – балка; 5 – ведомый шкив; 6 – натяжитель; 7 - стойки

Рисунок 3 – Схема привода робота

Принцип работы захвата. Захват выполнен из нержавеющей стали AISI 304, устанавливается на поперечную балку робота с помощью поворотного редуктора. Захват имеет зажим для захвата мешка, которые приводятся в движение с помощью двух пневмоцилиндров (рисунок 4). Давление в пневмоцилиндре: 0.01…1 МПа.

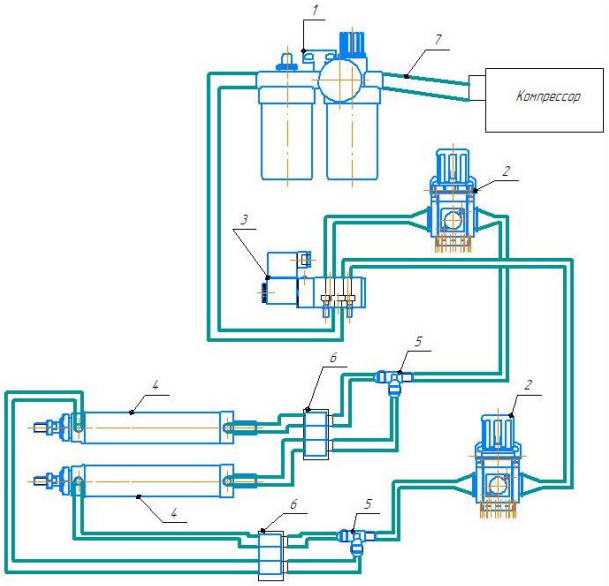


1 – платформа крепления захвата к редуктору; 2 – стойка крепления рамы к платформе; 3 – рама робота; 4 – зажим робота; 5 – пневмоцилиндры; 6 – каретка с рельсом.

Рисунок 4 – Модернизированный захват

Конструкция предполагает перемещение тары массой до 30 кг. Сама тара удерживается при перемещении на специальных пластинах, расположенных на зажимах захвата.

Для уменьшения износа пневмоцилиндров, в системе устанавливается блок подготовки воздуха (БПВ). Схема подключения пневматического оборудования представлена на рисунке 5.



1 – блок подготовки воздуха; 2 – пнеморегулятор; 3 – распределитель воздуха; 4 – пневматический цилиндр; 5 – фитинг разветвитель; 6 – распределитель давления; 7 – пневмотрубка

Рисунок 5 – Схема подключения пневматики захвата

Поток сжатого воздуха поступает в пневмоцилиндры через распределитель воздуха. При заклинивании штока одного из пневмоцилиндров, при заданном общем давлении, распределитель давления, состоящий из втулки с отверстиями и пальца, частично перекрывает свободнодвижущемуся пневмоцилиндру поток сжатого воздуха из-за разности давлений, что позволяет перенаправить давление на заклинивший цилиндр и протолкнуть его шток.

Выводы: В результате исследования установлено, что предлагаемая конструкция позволяет увеличить производительность труда на производстве на 40%. Рассматриваемый технологический процесс является перспективным для внедрения на современных предприятиях по производству картофеля. Следующим этапом планируется разработка программного обеспечения робота и проведение лабораторных испытаний.

Список использованных источников

1. Фирсов А.С. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» на тему «Разработка привода конвейера». ФГБНУ «ФНДЛК», Тверь, 2019. – 34 с.

2. Пашуков С.А. Чхетиани А.А. Современные технологии возделывания картофеля и их теоретический анализ // Novainfo: электронный журнал. - URL: https://novainfo.ru/article/3269 – Дата публикации: 21 апреля 2015 года

3. CNC TEHNOLOGY: официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: https://cnc-tehnologi.ru/ (дата обращения 25.09.2023).

4. Полное руководство по роботизированным укладчикам поддонов // EVS Robotics: [сайт]. – 2018. – URL: https://www.evsint.com/ru/guide-for-robotic-palletizers/ (дата обращения: 23.09.2023).

5. Расчет балки на прочность // Строительный сайт ProstoBuild: [сайт]. – 2015. – URL: https://prostobuild.ru/onlainraschet/144-raschet-balki-na-prochnost.html (дата обращения: 22.09.2023).

6. Двутавр 18Б2 нормальный (балочный) по ГОСТ 26020-83 // Инженерум: [сайт]. – 2017. – URL: https://engineerum.com/sortament/gost-26020-83/dvutavr_normalnyj-balochnyj/18b2/#:~:text=Двутавр%2018Б2%20нормальный%20(балочный)%20по,оси%20%22x%22%20i%20x%3D%2074%2C1см (дата обращения: 22.09.2023).

7. Елисеев Ю.В. Сопротивление материалов: методические указания для проведения практических занятий / Ю.В. Елисеев, А.В. Кудрявцев – Тверь: ТГСХА, 2016.- 57 с.

8. Правила транспортировки картофеля // Картофельный союз: [сайт]. – 2011. – URL: https://welikepotato.ru/pravila-transportirovki-kartofelya/ (дата обращения: 21.09.2023).

9. Нормы технологического проектирования предприятий по хранению и обработке картофеля и плодоовощной продукции // Библиотека нормативной документации: [сайт]. – 2023. - URL: https://files.stroyinf.ru/Data1/39/39091/#i1002499 (дата обращения: 21.09.2023).

Соколов Степан Анатольевич, студент 4 курса инженерного факультета по направлению «Технические системы в агробизнесе», ФГБОУ ВО Тверская ГСХА, stepan-sokolov-1997@mail.ru, 170904, Тверская область, г. Тверь, ул. Маршала Василевского (Сахарово),

Михайличенко Владимир Александрович, аспирант 1 года обучения, Тверская ГСХА, mail@tvgsha.ru, 170904, Тверская область, г. Тверь, ул. Маршала Василевского (Сахарово), 7

Фирсов Антон Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры технологических и транспортных машин и комплексов, Тверская ГСХА, mail@tvgsha.ru, 170904, Тверская область, г. Тверь, ул. Маршала Василевского (Сахарово), 7

Белякова Елена Сергеевна, к.т.н., доцент кафедры технологических и транспортных машин и комплексов, Тверская ГСХА, ebelakova@tvgsha.ru, 170904, Тверская область, г. Тверь, ул. Маршала Василевского (Сахарово), 7

AUTOMATION OF THE PROCESS OF LAYING BAGS OF POTATOES ON PALLETS

Belyakova E. S., Firsov A. S., Sokolov S. A., Mikhailichenko V. A.

Abstract: Automation of the packaging process and the movement of containers is one of the main issues of production. The implementation of an automated packaging process at enterprises makes it possible to increase the number of products sold at minimal cost and consists in expanding the functionality of small farms cultivating potatoes using a robotic packaging and crop transportation line. (The purpose of the study) To develop a robot design for laying bags of potatoes on pallets. (Materials and methods) The existing designs of stacker robots have been considered as examples. The strength properties of the robot structure for the expected load have been

investigated, the necessary materials and components for the manufacture of the robot frame have been selected. (Results and discussion) The necessary calculations have been made and the design of the stacker robot was modeled. (Conclusions) It is established that due to the introduction of an automated robot on the potato packaging line, the annual savings of money will amount to 80% of the initially considered technology.

Key words: automation, packaging process, reliability, potato cultivation, pneumatic system, modernization, control.

Sokolov Stepan Anatolyevich, 4th year student of the Faculty of Engineering in the direction of "Technical systems in Agribusiness", Tver State Agricultural Academy, stepan-sokolov-1997@mail.ru , 170904, Tver region, Tver, Marshal Vasilevsky Street (Sakharovo),

Mikhailichenko Vladimir Alexandrovich, postgraduate student of 1 year of study, Tver State Agricultural Academy, mail@tvgsha.ru , 170904, Tver region, Tver, Marshal Vasilevsky str. (Sakharovo), 7

Firsov Anton Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological and Transport Machines and Complexes, Tver State Agricultural Academy, mail@tvgsha.ru , 170904, Tver region, Tver, Marshal Vasilevsky str. (Sakharovo), 7

Belyakova Elena Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological and Transport Machines and Complexes, Tver State Agricultural Academy, ebelakova@tvgsha.ru , 170904, Tver region, Tver, Marshal Vasilevsky str. (Sakharovo), 7

Реклама в нашем журнале

ВНИМАНИЕ!

Редакция **ЖУРНАЛА «АГРОТЕХНИКА И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ»**
приглашает Вас к сотрудничеству.

Мы предлагаем разместить Вашу рекламу на страницах нашего журнала.
Наши читатели (Россия и зарубежье) — учебные и научные учреждения, предприятия следующих отраслей деятельности:

- сельскохозяйственные предприятия;
- предприятия тяжелой и легкой, перерабатывающей промышленности;
- энергокомпании;
- отраслевые НИИ;
- научно-производственные объединения;
- учебные заведения;
- библиотеки.

Каждый из номеров журнала распространяется более чем 500 адресатам.

Информацию о возможности размещения рекламной продукции и ценах Вы можете узнать в редакции журналов, а также у главного редактора.

Телефоны: 8202879024; 8(4862) 76-44-69.
Тел. (факс): 8(4862) 76-11-07

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – кандидат технических наук, доцент
Александр Владимирович Виноградов
E-mail: winaleksandr@yandex.ru

Адрес: 302019, г. Орел, ул. Ген. Родина, 69, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, факультет агротехники и энергообеспечения, ауд. 2-211.

ПЕРЕДВИЖНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
ФГБОУ ВО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА»
при кафедре «Электроснабжение» Орловского ГАУ
г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69, Орел ГАУ, ауд. 2-411

Передвижная электротехническая лаборатория ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» **проводит измерения и испытания в электроустановках до 1000В:**

1. Измерение сопротивления изоляции электрооборудования, проводов и кабелей;
2. Измерение сопротивления заземляющих устройств;
3. Измерения сопротивления цепи между заземлителями и заземляемыми элементами;
4. Измерение сопротивления петли «фаза-нуль»;
5. Проверка срабатывания устройств защитного отключения (УЗО);
6. Проверка срабатывания автоматических выключателей до 1000В.

Электротехническая лаборатория ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» зарегистрирована в Приокском управлении Ростехнодзора за №А10-14-888 от 20.10.2014г.

Также предлагаем услуги:

1. Проведение измерений качества электрической энергии.
2. Выполнение, редакция программ по энергосбережению, энергоаудит.
3. Монтаж электрооборудования.
4. Обслуживание электрохозяйства, подготовка документации по электрохозяйству.
5. Проведение курсов повышения квалификации по энергосбережению, электробезопасности, обучение по рабочей профессии «Электромонтер»
6. Выполнение проектов по электроснабжению.
7. Выполнение обследования состояния электропроводок.
8. Электротехнические расчеты.

Наши контакты:

Руководитель: Виноградов Александр Владимирович (к.т.н.)
тел: 89202879024, E-mail: winaleksandr@rambler.ru
инженер – метролог: Бородин Максим Владимирович (к.т.н.)
тел: 89208014190, E-mail: maksimka-borodin@yandex.ru
инженер – метролог: Семенов Александр Евгеньевич
тел: 89536130445, E-mail: semenow.ae@yandex.ru

ФГБОУ ВО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА»

Отдел сельскохозяйственного консультирования и развития сельских территорий ВНИИ социального развития села ФГБОУ ВО Орловский ГАУ принимает заявки на оказание консультационных услуг по следующим направлениям:

- в области агробизнеса и экологии;
- в области биотехнологий и ветеринарной медицины;
- в области экономики;
- в сфере социального и экономического развития сельских территорий;
- в области агротехники и энергообеспечения;
- в сфере строительства, эксплуатации и управления недвижимостью, ландшафтного дизайна;
- в сфере охраны труда и пожарной безопасности и др.

Более подробная информация об оказываемых услугах размещена на странице отдела по адресу:
http://www.orelsau.ru/science/institute-of-social-development-of-the-village/

Телефон: 8 (4862) 43-30-81
E-mail: vniisrs.orelsau@mail.ru

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ совместно с ФГБОУ ВО Орловским ГАУ
организуют проведение
постоянного научно-практического семинара «Энергообеспечение АПК»

Формат проведения: видеосвязь.
Периодичность: по мере поступления заявок на проведение, не реже 1 раза в 2 месяца.
Темы:
-всё, что связано с вопросами энергообеспечения АПК, электротехнологиями и электрооборудованием в АПК;

-вопросы цифровизации и роботизации в АПК и системах его энергообеспечения;

-современное сельскохозяйственное производство, проблемы и пути их решения, новые технологии;

-предварительное обсуждение кандидатских и докторских диссертаций;

-обсуждение совместных проектов, грантов;

- другие тематики.

Для участия, предложения тематики обсуждения:
написать письмо на электронную почту (в названии указать «семинар Энергообеспечение АПК»)
Почта: winaleksandr@gmail.com
Телефон: 89202879024 – Виноградов Александр Владимирович
При поступлении заявки на участие, адрес обратившегося вносится в рассылку и он уведомляется о теме и сроках проведения семинара.

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

ТАЙМЕР-ЭЛЕКТРОСЧЕТЧИК МОБИЛЬНЫЙ ПОРТАТИВНЫЙ С БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ (ТЭМП-3-W)

TIMER-ELECTRIC METER MOBILE PORTABLE WITH WIRELESS DATA TRANSMISSION (TEMMP-3-W)

Устройство решает следующие задачи:



- осуществление удалённых измерений (передача результатов на сайт. Хранение результатов на карте памяти);
- определение потерь на участках электрической сети;
- сведение энергобалансов по участкам сети;
- оптимизация уставок ПБВ силовых трансформаторов;
- обследование ЛЭП с выявлением причин завышенных потерь, показателей качества электроэнергии;
- энергоаудит сетей и оборудования сельхозпредприятий;
- построение графиков нагрузки, оценка времени наработки оборудования;
- проверка средств релейной защиты и автоматики;
- использование в качестве штатного измерительного прибора;
- оценка потерь электроэнергии в силовых трансформаторах без отключения их от сети и с ранжированием на потери короткого замыкания, нагрузочные потери и потери холостого хода;
- выявление хищений электроэнергии при обходах потребителей, за счет возможности установки устройства до электросчетчика абонента без разрывания электрической цепи и без нарушения её изоляции.

Технические характеристики:

Погрешность измерений: 0 – 1,5%	Диапазон измерения тока: 0 – 400 А (в зависимости от комплектации)
Дальность передачи данных: до 1,5 км	Диапазон измерения напряжения: 0 – 450 В
Время автономных измерений: до 24 ч	Тип аккумуляторной батареи: литий-ионная
Стоимость: 20-30 тыс. руб. (в зависимости от комплектации)	Степень защиты оболочки: IP55

Контактная информация

+79202879024 (Александр Виноградов) schkolamolen@gmail.com

+79536281466 (Алексей Букреев) alexziend@gmail.com

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

ТАЙМЕР-ЭЛЕКТРОСЧЕТЧИК МОБИЛЬНЫЙ ПОРТАТИВНЫЙ ТРЁХФАЗНЫЙ (ТЭМП-3)

TIMER-ELECTRIC METER MOBILE PORTABLE THREE-PHASE (TEMMP-3)

ТЭМП-3 осуществляет:



- учет электроэнергии;
- измерение и архивирование значений времени включенного/отключенного состояния потребителя с фиксацией моментов включения и отключения;
- измерение и архивирование значений потребляемого тока;
- измерение напряжения и архивирование значений напряжения;
- измерение и архивирование максимальных значений потребляемого тока;
- измерение и архивирование максимальных значений потребляемой мощности;
- измерение и архивирование значений потребляемой мощности без измерения значений напряжения;
- измерение и архивирование значений потребляемой мощности с измерением значений напряжения.

ТЭМП-3 может использоваться для:

- сведения энергобалансов по участкам сети;
- энергоаудита сетей и оборудования сельхозпредприятий;
- построения графиков нагрузки, оценки времени наработки оборудования;
- проверки средств релейной защиты и автоматики;
- использования в качестве штатного измерительного прибора;
- выявления хищений электроэнергии при обходах потребителей, за счет возможности установки устройства до электросчетчика абонента без разрывания электрической цепи и без нарушения её изоляции.

Технические характеристики:

Погрешность измерений: 0 – 1,5%	Диапазон измерения тока: 0 – 400 А (в зависимости от комплектации)
Время автономных измерений: 24 ч	Диапазон измерения напряжения: 0 – 450 В
Тип аккумуляторной батареи: литий-ионная	Степень защиты оболочки: IP55

Стоимость: 15-30 тыс. руб.
(в зависимости от комплектации)

Контактная информация

+79202879024 (Александр Виноградов) schkolamolen@gmail.com

+79536281466 (Алексей Букреев) alexziend@gmail.com

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
при участии ФГБОУ ВО Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина

ПРИБОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4 кВ (КОПиРР)

INSTRUMENT COMPLEX FOR ESTIMATING ELECTRICITY LOSSES AND STUDYING THE OPERATING MODES OF ELECTRICAL NETWORKS 0.4 kW (CELaOM)

Комплекс решает следующие задачи:



- измерение и архивирование потребляемого тока в точках установки датчиков комплекса;
- измерение и архивирование потребляемой мощности в точках установки датчиков комплекса;
- измерение и архивирование потребляемой электроэнергии в точках установки датчиков комплекса;
- измерение и архивирование потребляемой электроэнергии в точках установки датчиков комплекса;
- измерение и архивирование значений напряжений трехфазной сети в точках установки датчиков комплекса;
- фиксация моментов включения и отключения нагрузки на участке сети в точках установки датчиков комплекса;
- дистанционное получение данных о параметрах режимов работы сети с датчиков комплекса через радио-канал;
- синхронизацию по времени измерения между датчиками, входящими в комплекс и привязка к астрономическому времени.

Технические характеристики:

Погрешность измерений: 0 – 1,5%	Диапазон измерения тока: 0 – 400 А (в зависимости от комплектации)
Дальность передачи данных: до 1,5 км	Диапазон измерения напряжения: 0 – 450 В
Время автономных измерений: до 24 ч	Тип аккумуляторной батареи: литий-ионная
Количество точек измерения (кол-во измерительных блоков): до 6	Наличие проколов для изолированных проводов (СИП и тд.)
Стоимость: 80-100 тыс. руб. (в зависимости от комплектации)	Степень защиты оболочки: IP65

Контактная информация

+79202879024 (Александр Виноградов) schkolamolen@gmail.com

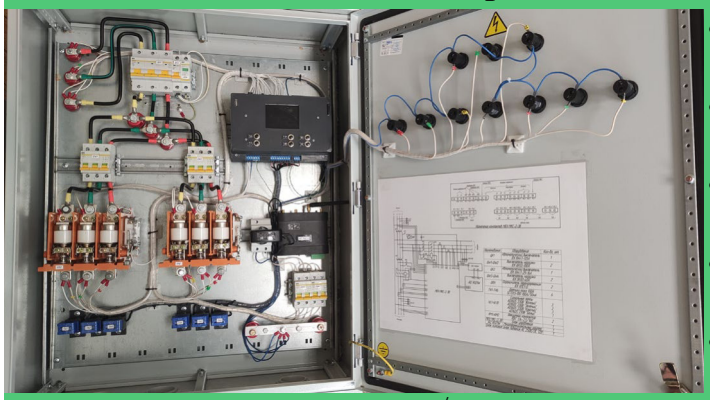
+79536281466 (Алексей Букреев) alexziend@gmail.com

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» при участии ФГБОУ ВО Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина

МУЛЬТИКОНТАКТНАЯ КОММУТАЦИОННАЯ СИСТЕМА С ДВУМЯ КОНТАКТНЫМИ ГРУППАМИ И ТРЕМЯ ВЫВОДАМИ (МКС-2-3В)

MULTI-CONTACT SWITCHING SYSTEM WITH TWO CONTACT GROUPS AND THREE TERMINALS (MSS-2-3T)

В МКС-2-3В реализованы следующие функции:



- измерение значений токов в магистрали и отпайке ЛЭП;
- измерение значений напряжений на выводах;
- управление двумя независимыми коммутационными аппаратами;
- выполнение функции автоматического повторного включения (АПВ);
- обмен данными по интерфейсу RS-485;
- автоматическое включение/отключение коммутационных аппаратов при появлении/исчезновении напряжения на вводе;
- автоматическое отключение коммутационных аппаратов при превышении заданных токовых уставок;
- передача данных по протоколу Modbus RTU;
- осуществление сигнализации диспетчеру;
- отображение символьных данных на дисплее контроллера МКС-2-3В;
- запись основных измеренных параметров на внешний накопитель;
- передача данных по протоколу Modbus RTU;
- ручное включение/отключение коммутационных аппаратов с помощью клавиатуры контроллера;
- диспетчерское включение/отключение коммутационных аппаратов;
- ручная и диспетчерская настройка параметров контроллера;
- сохранение значений конфигурационных параметров в энергонезависимой памяти.

Технические характеристики:

Погрешность измерений: 0 – 1,5%	Диапазон измерения тока: 0 – 400 А (в зависимости от комплектации)
Количество контактных групп: 2	Диапазон измерения напряжения: 0 – 270 В
Протокол передачи данных: Modbus RTU	Тип аккумуляторной батареи: литий-ионная
Стоимость: 60-100 тыс. руб. (в зависимости от комплектации)	Время автономной работы контролера:10 ч.

Контактная информация

+79202879024 (Александр Виноградов) schkolamolen@gmail.com

+79536281466 (Алексей Букреев) alexziend@gmail.com